

JAVA[®]

Podstawy

WYDANIE XI



CAY S. HORSTMANN

Tytuł oryginalny: Core Java Volume I - Fundamentals (11th Edition)

Tłumaczenie: Łukasz Piwko

ISBN: 978-83-283-5778-5

Authorized translation from the English language edition, entitled CORE JAVA VOLUME I – FUNDAMENTALS, 1, 11th Edition by HORSTMANN, CAY S., published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall.

Copyright © 2019 Pearson Education Inc.

Portions copyright © 1996-2013 Oracle and/or its affiliates. All Rights Reserved.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education Inc.

Polish language edition published by HELION S.A. Copyright © 2019.

Microsoft® Windows®, and Microsoft Office® are registered trademarks of the Microsoft Corporation in the U.S.A. and other countries. This book is not sponsored or endorsed by or affiliated with the Microsoft.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Helion SA dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Helion SA nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Helion SA

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: helion@helion.pl

WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<http://helion.pl/user/opinie/javp11>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:

<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/javp11.zip>

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

Spis treści

Wstęp	13
Do Czytelnika	13
O książce	15
Konwencje typograficzne	17
Przykłady kodu	17
Podziękowania	19
Rozdział 1. Wprowadzenie do Javy	21
1.1. Java jako platforma programistyczna	21
1.2. Słowa klucze białej księgi Javy	22
1.2.1. Prostota	23
1.2.2. Obiektowość	23
1.2.3. Sieciowość	24
1.2.4. Niezawodność	24
1.2.5. Bezpieczeństwo	24
1.2.6. Niezależność od architektury	25
1.2.7. Przenośność	26
1.2.8. Interpretacja	26
1.2.9. Wysoka wydajność	27
1.2.10. Wielowątkowość	27
1.2.11. Dynamiczność	27
1.3. Aplety Javy i internet	28
1.4. Krótka historia Javy	29
1.5. Główne nieporozumienia dotyczące Javy	32
Rozdział 2. Środowisko programistyczne Javy	35
2.1. Instalacja oprogramowania Java Development Kit	35
2.1.1. Pobieranie pakietu JDK	36
2.1.2. Instalacja pakietu JDK	37
2.1.3. Instalacja plików źródłowych i dokumentacji	39
2.2. Używanie narzędzi wiersza poleceń	40
2.3. Praca w zintegrowanym środowisku programistycznym	45
2.4. JShell	48

Rozdział 3. Podstawowe elementy języka Java	51
3.1. Prosty program w Javie	52
3.2. Komentarze	55
3.3. Typy danych	56
3.3.1. Typy całkowite	56
3.3.2. Typy zmiennoprzecinkowe	57
3.3.3. Typ char	58
3.3.4. Unicode i typ char	60
3.3.5. Typ boolean	61
3.4. Zmienne i stałe	61
3.4.1. Deklarowanie zmiennych	61
3.4.2. Inicjalizacja zmiennych	62
3.4.3. Stałe	63
3.4.4. Typ wyliczeniowy	64
3.5. Operatory	65
3.5.1. Operatory arytmetyczne	65
3.5.2. Funkcje i stałe matematyczne	66
3.5.3. Konwersja typów numerycznych	68
3.5.4. Rzutowanie	68
3.5.5. Łączenie przypisania z innymi operatorami	69
3.5.6. Operatory inkrementacji i dekrementacji	70
3.5.7. Operatory relacyjne i logiczne	70
3.5.8. Operatory bitowe	71
3.5.9. Nawiasy i priorytety operatorów	72
3.6. Łańcuchy	73
3.6.1. Podłańcuchy	73
3.6.2. Konkatenacja	74
3.6.3. Łańcuchów nie można modyfikować	74
3.6.4. Porównywanie łańcuchów	76
3.6.5. Łańcuchy puste i łańcuchy null	77
3.6.6. Współrzędne kodowe znaków i jednostki kodowe	77
3.6.7. API String	78
3.6.8. Dokumentacja API w internecie	81
3.6.9. Składanie łańcuchów	84
3.7. Wejście i wyjście	85
3.7.1. Odbieranie danych wejściowych	85
3.7.2. Formatowanie danych wyjściowych	88
3.7.3. Zapis i odczyt plików	92
3.8. Sterowanie wykonywaniem programu	94
3.8.1. Zasięg blokowy	94
3.8.2. Instrukcje warunkowe	95
3.8.3. Pętle	98
3.8.4. Pętle o określonej liczbie powtórzeń	101
3.8.5. Wybór wielokierunkowy — instrukcja switch	105
3.8.6. Instrukcje przerywające przepływ sterowania	107
3.9. Wielkie liczby	110
3.10. Tablice	112
3.10.1. Deklarowanie tablic	112
3.10.2. Dostęp do elementów tablicy	114
3.10.3. Pętla typu for each	114
3.10.4. Kopiowanie tablicy	115

3.10.5. Parametry wiersza poleceń	116
3.10.6. Sortowanie tablicy	117
3.10.7. Tablice wielowymiarowe	120
3.10.8. Tablice postrzępione	122
Rozdział 4. Obiekty i klasy	127
4.1. Wstęp do programowania obiektowego	128
4.1.1. Klasy	129
4.1.2. Obiekty	129
4.1.3. Identyfikacja klas	130
4.1.4. Relacje między klasami	131
4.2. Używanie klas predefiniowanych	132
4.2.1. Obiekty i zmienne obiektów	133
4.2.2. Klasa LocalDate	135
4.2.3. Metody udostępniające i zmieniające wartość elementu	137
4.3. Definiowanie własnych klas	141
4.3.1. Klasa Employee	141
4.3.2. Używanie wielu plików źródłowych	144
4.3.3. Analiza klasy Employee	144
4.3.4. Pierwsze kroki w tworzeniu konstruktorów	145
4.3.5. Deklarowanie zmiennych lokalnych za pomocą słowa kluczowego var	146
4.3.6. Praca z referencjami null	147
4.3.7. Parametry jawne i niejawne	148
4.3.8. Korzyści z hermetyzacji	149
4.3.9. Przywileje klasowe	151
4.3.10. Metody prywatne	152
4.3.11. Stałe jako pola klasy	152
4.4. Pola i metody statyczne	153
4.4.1. Pola statyczne	153
4.4.2. Stałe statyczne	154
4.4.3. Metody statyczne	155
4.4.4. Metody fabryczne	156
4.4.5. Metoda main	156
4.5. Parametry metod	159
4.6. Konstruowanie obiektów	165
4.6.1. Przeciążanie	165
4.6.2. Domyślna inicjalizacja pól	166
4.6.3. Konstruktor bezargumentowy	166
4.6.4. Jawna inicjalizacja pól	167
4.6.5. Nazywanie parametrów	168
4.6.6. Wywoływanie innego konstruktora	169
4.6.7. Bloki inicjalizujące	169
4.6.8. Niszczanie obiektów i metoda finalize	173
4.7. Pakiety	174
4.7.1. Nazwy pakietów	174
4.7.2. Importowanie klas	175
4.7.3. Importowanie statyczne	176
4.7.4. Dodawanie klasy do pakietu	177
4.7.5. Dostęp do pakietu	180
4.7.6. Ścieżka klas	181
4.7.7. Ustawianie ścieżki klas	183

4.8. Pliki JAR	184
4.8.1. Tworzenie plików JAR	184
4.8.2. Manifest	184
4.8.3. Wykonywalne pliki JAR	186
4.8.4. Pliki JAR z wieloma wersjami klas	187
4.8.5. Kilka uwag na temat opcji wiersza poleceń	188
4.9. Komentarze dokumentacyjne	189
4.9.1. Wstawianie komentarzy	190
4.9.2. Komentarze do klas	190
4.9.3. Komentarze do metod	191
4.9.4. Komentarze do pól	192
4.9.5. Komentarze ogólne	192
4.9.6. Komentarze do pakietów	193
4.9.7. Pobieranie komentarzy	194
4.10. Porady dotyczące projektowania klas	195

Rozdział 5. Dziedziczenie **199**

5.1. Klasy, nadklasy i podklasy	200
5.1.1. Definiowanie podklas	200
5.1.2. Przesłanianie metod	201
5.1.3. Konstruktory podklas	203
5.1.4. Hierarchia dziedziczenia	207
5.1.5. Polimorfizm	207
5.1.6. Zasady wywoływania metod	209
5.1.7. Wyłączanie dziedziczenia — klasy i metody finalne	211
5.1.8. Rzutowanie	212
5.1.9. Klasy abstrakcyjne	215
5.1.10. Ograniczanie dostępu	220
5.2. Kosmiczna klasa wszystkich klas — Object	221
5.2.1. Zmienne typu Object	221
5.2.2. Metoda equals	221
5.2.3. Porównywanie a dziedziczenie	223
5.2.4. Metoda hashCode	226
5.2.5. Metoda toString	228
5.3. Generyczne listy tablicowe	234
5.3.1. Deklarowanie list tablicowych	234
5.3.2. Dostęp do elementów listy tablicowej	237
5.3.3. Zgodność pomiędzy typowanymi a surowymi listami tablicowymi	240
5.4. Opakowania obiektów i automatyczne pakowanie	241
5.5. Metody ze zmienną liczbą parametrów	244
5.6. Klasy wyliczeniowe	246
5.7. Refleksja	248
5.7.1. Klasa Class	248
5.7.2. Podstawy deklarowania wyjątków	251
5.7.3. Zasoby	252
5.7.4. Zastosowanie refleksji w analizie funkcjonalności klasy	254
5.7.5. Refleksja w analizie obiektów w czasie działania programu	259
5.7.6. Zastosowanie refleksji w generycznym kodzie tablicowym	264
5.7.7. Wywoływanie dowolnych metod i konstruktorów	267
5.8. Porady projektowe dotyczące dziedziczenia	270

Rozdział 6. Interfejsy, wyrażenia lambda i klasy wewnętrzne	273
6.1. Interfejsy	274
6.1.1. Koncepcja interfejsu	274
6.1.2. Własności interfejsów	280
6.1.3. Interfejsy a klasy abstrakcyjne	281
6.1.4. Metody statyczne i prywatne	282
6.1.5. Metody domyślne	283
6.1.6. Wybieranie między metodami domyślnymi	284
6.1.7. Interfejsy i wywołania zwrotne	286
6.1.8. Interfejs Comparator	289
6.1.9. Klonowanie obiektów	290
6.2. Wyrażenia lambda	296
6.2.1. Po co w ogóle są lambdy	296
6.2.2. Składnia wyrażeń lambda	297
6.2.3. Interfejsy funkcyjne	299
6.2.4. Referencje do metod	301
6.2.5. Referencje do konstruktorów	305
6.2.6. Zakres dostępności zmiennych	306
6.2.7. Przetwarzanie wyrażeń lambda	308
6.2.8. Poszerzenie wiadomości o komparatorach	311
6.3. Klasy wewnętrzne	312
6.3.1. Dostęp do stanu obiektu w klasie wewnętrznej	313
6.3.2. Specjalne reguły składniowe dotyczące klas wewnętrznych	316
6.3.3. Czy klasy wewnętrzne są potrzebne i bezpieczne?	317
6.3.4. Lokalne klasy wewnętrzne	319
6.3.5. Dostęp do zmiennych finalnych z metod zewnętrznych	320
6.3.6. Anonimowe klasy wewnętrzne	321
6.3.7. Statyczne klasy wewnętrzne	325
6.4. Moduły ładowania usług	328
6.5. Klasy pośredniczące	331
6.5.1. Kiedy używać klas pośredniczących	331
6.5.2. Tworzenie obiektów pośredniczących	331
6.5.3. Właściwości klas pośredniczących	335
Rozdział 7. Wyjątki, asercje i dzienniki	337
7.1. Obsługa błędów	338
7.1.1. Klasyfikacja wyjątków	339
7.1.2. Deklarowanie wyjątków kontrolowanych	341
7.1.3. Zgłaszanie wyjątków	343
7.1.4. Tworzenie klas wyjątków	344
7.2. Przechwytywanie wyjątków	345
7.2.1. Przechwytywanie wyjątku	345
7.2.2. Przechwytywanie wielu typów wyjątków	347
7.2.3. Powtórne generowanie wyjątków i budowanie łańcuchów wyjątków	348
7.2.4. Klauzula finally	350
7.2.5. Instrukcja try z zasobami	352
7.2.6. Analiza danych ze stosu wywołań	354
7.3. Wskazówki dotyczące stosowania wyjątków	358
7.4. Asercje	360
7.4.1. Koncepcja asercji	361
7.4.2. Włączanie i wyłączanie asercji	362

7.4.3. Zastosowanie asercji do sprawdzania parametrów	362
7.4.4. Zastosowanie asercji do dokumentowania założeń	364
7.5. Dzienniki	365
7.5.1. Podstawy zapisu do dziennika	366
7.5.2. Zaawansowane techniki zapisu do dziennika	366
7.5.3. Zmiana konfiguracji menedżera dzienników	368
7.5.4. Lokalizacja	370
7.5.5. Obiekty typu Handler	371
7.5.6. Filtry	374
7.5.7. Formatery	374
7.5.8. Przepis na dziennik	375
7.6. Wskazówki dotyczące debugowania	383
Rozdział 8. Programowanie generyczne	389
8.1. Dlaczego programowanie generyczne	390
8.1.1. Zalety parametrów typów	390
8.1.2. Dla kogo programowanie generyczne	391
8.2. Definicja prostej klasy generycznej	392
8.3. Metody generyczne	394
8.4. Ograniczenia zmiennych typowych	396
8.5. Kod generyczny a maszyna wirtualna	398
8.5.1. Wymazywanie typów	398
8.5.2. Translacja wyrażeń generycznych	399
8.5.3. Translacja metod generycznych	400
8.5.4. Używanie starego kodu	402
8.6. Ograniczenia i braki	403
8.6.1. Nie można podawać typów prostych jako parametrów typowych	403
8.6.2. Sprawdzanie typów w czasie działania programu jest możliwe tylko dla typów surowych	403
8.6.3. Nie można tworzyć tablic typów generycznych	404
8.6.4. Ostrzeżenia dotyczące zmiennej liczby argumentów	405
8.6.5. Nie wolno tworzyć egzemplarzy zmiennych typowych	406
8.6.6. Nie można utworzyć egzemplarza generycznej tablicy	407
8.6.7. Zmiennych typowych nie można używać w statycznych kontekstach klas generycznych	408
8.6.8. Obiektów klasy generycznej nie można generować ani przechwytywać	409
8.6.9. Można wyłączyć sprawdzanie wyjątków kontrolowanych	409
8.6.10. Uważaj na konflikty, które mogą powstać po wymazaniu typów	411
8.7. Zasady dziedziczenia dla typów generycznych	412
8.8. Typy wieloznaczne	414
8.8.1. Koncepcja typu wieloznacznego	414
8.8.2. Ograniczenia nadtypów typów wieloznacznych	415
8.8.3. Typy wieloznaczne bez ograniczeń	418
8.8.4. Chwyatanie typu wieloznacznego	418
8.9. Refleksja a typy generyczne	421
8.9.1. Generyczna klasa Class	421
8.9.2. Zastosowanie parametrów Class<T> do dopasowywania typów	422
8.9.3. Informacje o typach generycznych w maszynie wirtualnej	422
8.9.4. Literały typowe	426

Rozdział 9. Kolekcje	433
9.1. Architektura kolekcji Javy	434
9.1.1. Oddzielenie warstwy interfejsów od warstwy klas konkretnych	434
9.1.2. Interfejs Collection	436
9.1.3. Iteratory	437
9.1.4. Generyczne metody użytkowe	439
9.2. Interfejsy w systemie kolekcji Javy	442
9.3. Konkretnie klasy kolecyjne	445
9.3.1. Listy powiązane	445
9.3.2. Listy tablicowe	454
9.3.3. Zbiór HashSet	454
9.3.4. Zbiór TreeSet	458
9.3.5. Kolejki Queue i Deque	462
9.3.6. Kolejki priorytetowe	464
9.4. Słowniki	465
9.4.1. Podstawowe operacje słownikowe	465
9.4.2. Modyfikowanie wpisów w słowniku	468
9.4.3. Widoki słowników	470
9.4.4. Klasa WeakHashMap	471
9.4.5. Klasy LinkedHashSet i LinkedHashMap	472
9.4.6. Klasy EnumSet i EnumMap	473
9.4.7. Klasa IdentityHashMap	474
9.5. Widoki i opakowania	476
9.5.1. Małe kolekcje	476
9.5.2. Przedziały	478
9.5.3. Widoki niemodyfikowalne	478
9.5.4. Widoki synchronizowane	480
9.5.5. Widoki kontrolowane	480
9.5.6. Uwagi dotyczące operacji opcjonalnych	481
9.6. Algorytmy	485
9.6.1. Dlaczego algorytmy generyczne	485
9.6.2. Sortowanie i tasowanie	486
9.6.3. Wyszukiwanie binarne	489
9.6.4. Proste algorytmy	490
9.6.5. Operacje zbiorowe	492
9.6.6. Konwersja pomiędzy kolekcjami a tablicami	493
9.6.7. Pisanie własnych algorytmów	493
9.7. Stare kolekcje	495
9.7.1. Klasa Hashtable	495
9.7.2. Wyliczenia	495
9.7.3. Słowniki własności	496
9.7.4. Stosy	500
9.7.5. Zbiory bitów	500
Rozdział 10. Graficzne interfejsy użytkownika	505
10.1. Historia zestawów narzędzi do tworzenia interfejsów użytkownika	505
10.2. Wyświetlanie ramki	507
10.2.1. Tworzenie ramki	507
10.2.2. Właściwości ramki	509

10.3. Wyświetlanie informacji w komponencie	512
10.3.1. Figury 2D	517
10.3.2. Kolory	523
10.3.3. Czcionki	524
10.3.4. Wyświetlanie obrazów	530
10.4. Obsługa zdarzeń	531
10.4.1. Podstawowe koncepcje obsługi zdarzeń	531
10.4.2. Przykład — obsługa kliknięcia przycisku	533
10.4.3. Zwiąże definiowanie procedur nasłuchowych	536
10.4.4. Klasy adaptacyjne	537
10.4.5. Akcje	539
10.4.6. Zdarzenia generowane przez mysz	545
10.4.7. Hierarchia zdarzeń w bibliotece AWT	550
10.5. API Preferences	552
Rozdział 11. Komponenty Swing interfejsu użytkownika	559
11.1. Swing i wzorec model-widok-kontroler	560
11.2. Wprowadzenie do zarządzania rozkładem	563
11.2.1. Zarządcy układu	563
11.2.2. Rozkład brzegowy	565
11.2.3. Rozkład siatkowy	567
11.3. Wprowadzanie tekstu	568
11.3.1. Pola tekstowe	568
11.3.2. Etykiety komponentów	570
11.3.3. Pola haseł	571
11.3.4. Obszary tekstowe	572
11.3.5. Panele przewijane	573
11.4. Komponenty umożliwiające wybór opcji	575
11.4.1. Pola wyboru	575
11.4.2. Przełączniki	577
11.4.3. Obramowanie	581
11.4.4. Listy rozwijane	583
11.4.5. Suwaki	586
11.5. Menu	592
11.5.1. Tworzenie menu	592
11.5.2. Ikony w elementach menu	595
11.5.3. Pola wyboru i przełączniki jako elementy menu	596
11.5.4. Menu podręczne	597
11.5.5. Mnemoniki i akceleratory	598
11.5.6. Aktywowanie i dezaktywowanie elementów menu	600
11.5.7. Paski narzędzi	604
11.5.8. Dymki	606
11.6. Zaawansowane techniki zarządzania rozkładem	607
11.6.1. Rozkład GridBagLayout	607
11.6.2. Niestandardowi zarządcy rozkładu	616
11.7. Okna dialogowe	620
11.7.1. Okna dialogowe opcji	621
11.7.2. Tworzenie okien dialogowych	625
11.7.3. Wymiana danych	629
11.7.4. Okna dialogowe wyboru plików	634

Rozdział 12. Współbieżność	643
12.1. Czym są wątki	644
12.2. Stany wątków	648
12.2.1. Wątki tworzone za pomocą operatora new	649
12.2.2. Wątki RUNNABLE	649
12.2.3. Wątki BLOCKED i WAITING	650
12.2.4. Zamykanie wątków	650
12.3. Własności wątków	652
12.3.1. Przerwywanie wątków	652
12.3.2. Wątki demony	655
12.3.3. Nazwy wątków	655
12.3.4. Procedury obsługi nieprzechwyconych wyjątków	655
12.3.5. Priorytety wątków	657
12.4. Synchronizacja	658
12.4.1. Przykład sytuacji powodującej wyścig	658
12.4.2. Wyścigi	660
12.4.3. Obiekty klasy Lock	662
12.4.4. Warunki	665
12.4.5. Słowo kluczowe synchronized	670
12.4.6. Bloki synchronizowane	674
12.4.7. Monitor	675
12.4.8. Pola ulotne	676
12.4.9. Zmienne finalne	677
12.4.10. Zmienne atomowe	677
12.4.11. Zakleszczenia	679
12.4.12. Zmienne lokalne wątków	682
12.4.13. Dlaczego metody stop i suspend są wycofywane	683
12.5. Kolekcje bezpieczne wątkowo	685
12.5.1. Kolejki blokujące	685
12.5.2. Szybkie słowniki, zbiory i kolejki	692
12.5.3. Atomowe modyfikowanie elementów słowników	693
12.5.4. Operacje masowe na współbieżnych słownikach skrótów	696
12.5.5. Współbieżne widoki zbiorów	698
12.5.6. Tablice kopiowane przy zapisie	699
12.5.7. Równoległe algorytmy tablicowe	699
12.5.8. Starsze kolekcje bezpieczne wątkowo	700
12.6. Zadania i pule wątków	701
12.6.1. Interfejsy Callable i Future	702
12.6.2. Klasa Executors	704
12.6.3. Kontrolowanie grup zadań	707
12.6.4. Metoda rozgałęzienie-złączenie	711
12.7. Obliczenia asynchroniczne	714
12.7.1. Klasa CompletableFuture	714
12.7.2. Tworzenie obiektów CompletableFuture	716
12.7.3. Czasochłonne zadania w wywołaniach zwrrotnych interfejsu użytkownika	722
12.8. Procesy	728
12.8.1. Budowanie procesu	729
12.8.2. Uruchamianie procesu	730
12.8.3. Uchwyty procesów	731
Dodatek A	737
Skorowidz	741

12

Współbieżność

W tym rozdziale:

- 12.1. Czym są wątki
- 12.2. Stany wątków
- 12.3. Własności wątków
- 12.4. Synchronizacja
- 12.5. Kolekcje bezpieczne wątkowo
- 12.6. Zadania i pule wątków
- 12.7. Obliczenia asynchroniczne
- 12.8. Procesy

Większość użytkowników systemów operacyjnych zna pojęcie **wielozadaniowości**, czyli zdolności systemu do uruchamiania więcej niż jednego programu pozornie jednocześnie. Można na przykład pisać lub wysyłać e-mail i w tym samym czasie drukować jakiś dokument. W dzisiejszych czasach coraz częściej spotyka się komputery wyposażone w więcej niż jeden procesor, choć liczba procesów działających jednocześnie nie jest ograniczona liczbą procesorów. System operacyjny stwarza pozory równoległego wykonywania zadań, każdemu procesowi przydzielając odpowiedni czas pracy procesora.

Programy wielowątkowe przenoszą koncepcję wielozadaniowości o jeden poziom niżej, gdzie poszczególne programy sprawiają złudzenie wykonywania wielu zadań naraz. Każde z tych zadań jest zwyczajowo nazywane **wątkiem** (ang. *thread*), a pełna nazwa to wątek sterowania (ang. *thread of control*). Programy potrafiące działać w więcej niż jednym wątku nazywają się programami **wielowątkowymi** (ang. *multithreaded*).

Jaka jest zatem różnica pomiędzy wieloma *procesami* a wieloma *wątkami*? Przede wszystkim należy zauważyć, że każdy proces posiada pełen zestaw własnych zmiennych, podczas gdy wątki współdzielą dane z innymi wątkami. Brzmi to dosyć ryzykownie i rzeczywiście może czasami sprawiać problemy, o czym przekonasz się za chwilę. Z drugiej strony dzięki współdzieleniu zmiennych komunikacja pomiędzy wątkami zachodzi sprawniej i jest łatwiejsza do

zaprogramowania niż komunikacja międzyprocesowa. Ponadto wątki w niektórych systemach operacyjnych są lżejsze od procesów, to znaczy utworzenie i zniszczenie pojedynczego wątku zajmuje mniej czasu niż uruchomienie nowego procesu.

Wielowątkowość jest niezwykle praktycznym narzędziem. Wiadomo na przykład, że przeglądarka powinna mieć możliwość pobierania kilku obrazów jednocześnie, a serwer sieciowy musi obsługiwać wiele żądań w tym samym czasie. Programy z graficznym interfejsem użytkownika dysponują osobnym wątkiem do zbierania zdarzeń z interfejsu pochodzących od środowiska operacyjnego. Ten rozdział dotyczy pisania aplikacji wielowątkowych w Javie.

ostrzeżenie: programy wielowątkowe bywają bardzo skomplikowane. My opisujemy wszystkie narzędzia, których może potrzebować programista. Jednak w poszukiwaniu opisów bardziej zaawansowanych technik programowania systemowego odsyłamy do innych źródeł, na przykład książki *Java. Współbieżność dla praktyków*, której autorami są Brian Goetz, Tim Peierls, Joshua Bloch, Joseph Bowbeer, David Holmes i Doug Lea (Helion, Gliwice 2007).

12.1. Czym są wątki

Na początek przyjrzymy się prostemu programowi, który wykorzystuje dwa wątki do przenoszenia pieniędzy między kontami bankowymi. Będziemy używać klasy `Bank` zapisującej salda określonej liczby kont. Metoda `transfer` przelewa określoną kwotę z jednego konta na inne. Implementacja jest pokazana na listingu 12.2.

W pierwszym wątku przelejemy pieniądze z konta 0 na konto 1. Drugi wątek będzie przelewał pieniądze z konta 2 na konto 3.

Poniżej znajduje się prosta procedura uruchamiania zadania w osobnym wątku:

1. Umieść kod zadania w metodzie `run` klasy implementującej interfejs `Runnable`. Ten bardzo prosty interfejs zawiera tylko jedną metodę:

```
public interface Runnable
{
    void run();
}
```

Dzięki temu, że `Runnable` to interfejs funkcyjny, można utworzyć egzemplarz za pomocą wyrażenia lambda:

```
Runnable r = () -> { task code };
```

2. Utwórz obiekt `Thread` z egzemplarza `Runnable`:

```
var t = new Thread(r);
```

3. Uruchom wątek:

```
t.start();
```

Aby utworzyć osobny wątek do przelewania pieniędzy, należy umieścić kod realizujący przelew w metodzie `run` egzemplarza `Runnable`, a następnie uruchomić wątek:

```

Runnable r = () -> {
    try
    {
        for (int i = 0; i < STEPS; i++)
        {
            double amount = MAX_AMOUNT * Math.random();
            bank.transfer(0, 1, amount);
            Thread.sleep((int) (DELAY * Math.random()));
        }
    }
    catch (InterruptedException e)
    {
    }
};
var t = new Thread(r);
t.start();

```

W określonej liczbie kroków wątek ten przelewa losową kwotę, po czym zasypia na losową ilość czasu.

Musimy przechwycić wyjątek `InterruptedException`, którego zgłoszeniem grozi metoda `sleep`.

Dokładniej tym wyjątkiem zajmujemy się w punkcie 12.3.1, „Przerywanie wątków”. Pracę wątków zazwyczaj przerywa się w celu zakończenia ich działania. W chwili wystąpienia wyjątku `InterruptedException` nasza metoda `run` także zakończy działanie.

Ponadto nasz program uruchamia drugi wątek, który przelewa pieniądze z konta 2 na konto 3. Poniżej znajduje się wynik działania tego programu:

```

Thread[Thread-1.5,main] 606,77 z 2 na 3 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-0.5,main] 98,99 z 0 na 1 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-1.5,main] 476,78 z 2 na 3 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-0.5,main] 653,64 z 0 na 1 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-1.5,main] 807,14 z 2 na 3 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-0.5,main] 481,49 z 0 na 1 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-0.5,main] 203,73 z 0 na 1 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-1.5,main] 111,76 z 2 na 3 Saldo całkowite: 400000,00
Thread[Thread-1.5,main] 794,88 z 2 na 3 Saldo całkowite: 400000,00
...

```

Wyniki dwóch wątków przeplatają się, co wskazuje na to, że wątki te są wykonywane współbieżnie. Czasami jednak wyniki takiej przeplatanki mogą być mniej uporządkowane.

To wszystko! Od tej pory umiesz wykonywać zadania współbieżnie. W pozostałej części tego rozdziału znajduje się opis technik kontroli interakcji między wątkami.

Na listingu 12.1 znajduje się kompletny kod.

Listing 12.1. threads/ThreadTest.java

```

package threads;

/**
 * @version 1.30 2004-08-01
 * @author Cay Horstmann

```

```

*/
public class ThreadTest
{
    public static final int DELAY = 10;
    public static final int STEPS = 100;
    public static final double MAX_AMOUNT = 1000;

    public static void main(String[] args)
    {
        var bank = new Bank(4, 100000);
        Runnable task1 = () ->
        {
            try
            {
                for (int i = 0; i < STEPS; i++)
                {
                    double amount = MAX_AMOUNT * Math.random();
                    bank.transfer(0, 1, amount);
                    Thread.sleep((int) (DELAY * Math.random()));
                }
            }
            catch (InterruptedException e)
            {
            }
        };

        Runnable task2 = () ->
        {
            try
            {
                for (int i = 0; i < STEPS; i++)
                {
                    double amount = MAX_AMOUNT * Math.random();
                    bank.transfer(2, 3, amount);
                    Thread.sleep((int) (DELAY * Math.random()));
                }
            }
            catch (InterruptedException e)
            {
            }
        };

        new Thread(task1).start();
        new Thread(task2).start();
    }
}

```



Wątek można też zdefiniować poprzez utworzenie podklasy klasy Thread, np.:

```

class MyThread extends Thread
{
    public void run()
    {
        task code
    }
}

```


Następnie można utworzyć obiekt podklasy i wywołać jego metodę `start`. Technika ta nie jest jednak już zalecana, ponieważ powinno się oddzielać zadanie do wykonania równoległego od mechanizmu wykonywania. Jeśli zadań jest dużo, tworzenie osobnego wątku dla każdego z nich jest zbyt kosztowne. W takim przypadku lepiej użyć puli wątków — patrz punkt 12.6.2, „Klasa `Executors`”.



Nie wywołuj metody `run` klasy `Thread` ani obiektu typu `Runnable`. Jej bezpośrednie wywołanie powoduje tylko wykonanie zadania i tym samym wątku — nie zostaje uruchomiony nowy wątek. Zamiast tego należy wywołać metodę `Thread.start`, która tworzy nowy wątek wykonujący metodę `run`.

Listing 12.2. `threads/Bank.java`

```
package threads;

import java.util.*;

/**
 * Bank z pewną liczbą kont.
 */
public class Bank
{
    private final double[] accounts;

    /**
     * Tworzy bank.
     * @param n liczba kont
     * @param initialBalance początkowe saldo każdego konta
     */
    public Bank(int n, double initialBalance)
    {
        accounts = new double[n];
        Arrays.fill(accounts, initialBalance);
    }

    /**
     * Przelewa pieniądze z jednego konta na inne.
     * @param from konto źródłowe
     * @param to konto docelowe
     * @param amount kwota przelewu
     */
    public void transfer(int from, int to, double amount)
    {
        if (accounts[from] < amount) return;
        System.out.print(Thread.currentThread());
        accounts[from] -= amount;
        System.out.printf(" %10.2f z %d na %d", amount, from, to);
        accounts[to] += amount;
        System.out.printf(" Saldo całkowite: %10.2f%n", getTotalBalance());
    }

    /**
     * Oblicza sumę wszystkich sald kont.
     * @return saldo całkowite
     */
}
```

```

public double getTotalBalance()
{
    double sum = 0;

    for (double a : accounts)
        sum += a;

    return sum;
}

/**
 * Sprawdza liczbę kont w banku.
 * @return liczba kont
 */
public int size()
{
    return accounts.length;
}
}

```

java.lang.Thread 1.0

- Thread(Runnable target)

Tworzy nowy wątek, który wywołuje metodę run() wskazanego obiektu.

- void start()

Uruchamia ten wątek, powodując wywołanie metody run(). Metoda ta zwraca wartość natychmiast. Nowy wątek działa współbieżnie.

- void run()

Wywołuje metodę run powiązanego obiektu typu Runnable.

- static void sleep(long millis)

Zatrzymuje wykonywanie na określonej liczbie milisekund.

java.lang.Runnable 1.0

- void run()

Metoda, która musi zostać przesłonięta oraz otrzymać wytyczne dla zadania, które ma zostać wykonane.

12.2. Stany wątków

Wątek może być w jednym z sześciu stanów:

- NEW (nowy),
- RUNNABLE (wykonywalny),
- BLOCKED (zablokowany),

- WAITING (oczekujący),
- TIMED WAITING (oczekujący określoną ilość czasu),
- TERMINATED (zakończony).

Znaczenie tych wszystkich stanów zostało opisane poniżej.

Do sprawdzania aktualnego stanu wątku służy metoda `getState`.

12.2.1. Wątki tworzone za pomocą operatora `new`

Wątek utworzony za pomocą operatora `new` — na przykład `new Thread(r)` — nie jest od razu uruchamiany. Oznacza to, że pozostaje on w stanie `NEW`. Jeśli wątek znajduje się w stanie `NEW`, program nie zaczął jeszcze wykonywać znajdującego się w nim kodu. Przed uruchomieniem wątku trzeba wykonać jeszcze kilka dodatkowych czynności.

12.2.2. Wątki `RUNNABLE`

Po wywołaniu metody `start` wątek przechodzi w stan `RUNNABLE`. Wątek taki może, ale nie musi być uruchomiony. Przydział czasu dla wątku leży w gestii systemu operacyjnego (w Javie dla stanu działania wątku nie wprowadzono osobnej nazwy, dlatego uruchomiony wątek nadal pozostaje w stanie `RUNNABLE`).

Po uruchomieniu wątek nie musi działać cały czas. Zaleca się nawet wstrzymywanie działających wątków co jakiś czas, aby dać szansę na działanie innym wątkom. Szczegółowa kontrola harmonogramu wykonywania wątków zależy od usług udostępnianych przez system operacyjny. Systemy planowania wywłaszczającego wątków przydzielają każdemu wykonywalnemu wątkowi określoną ilość czasu na wykonanie zadania. Kiedy czas mija, system operacyjny *wywłaszcza* wątek i przydziela czas innemu wątkowi (zobacz rysunek 12.2). Przy wybieraniu kolejnego wątku system operacyjny kieruje się *priorytetami* wątków — zobacz punkt 12.3.5, „Priorytety wątków”.

Wszystkie nowoczesne systemy operacyjne — zarówno serwerowe, jak i przeznaczone na komputery osobiste — stosują planowanie wywłaszczające. Mniejsze urządzenia, jak telefony komórkowe, mogą wykorzystywać planowanie kooperacyjne. W takim urządzeniu wątek traci sterowanie, jeśli wywoła metodę `yield` lub zostanie zablokowany czy przestawiony w stan oczekiwania.

W komputerach z kilkoma procesorami każdy procesor może wykonywać osobny wątek, dzięki czemu wiele wątków może działać równolegle. Oczywiście jeśli wątków jest więcej niż procesorów, system planujący i tak musi się zająć przydzielaniem czasu.

Należy zawsze pamiętać, że wykonywalny wątek może w danej chwili być uruchomiony lub nie (dlatego stan ten nazwano `RUNNABLE`, co oznacza „wykonywalny”, zamiast na przykład `RUNNING`, co znaczyłoby „wykonywany”).

```
java.lang.Thread 1.0
```

- `static void yield()`

Zmusza aktualnie wykonywany wątek do oddania kontroli innemu wątkowi.

Uwaga: to jest metoda statyczna.

12.2.3. Wątki BLOCKED i WAITING

Kiedy wątek znajduje się w stanie BLOCKED (zablokowany) lub WAITING (oczekujący), jest okresowo nieaktywny. Nie wykonuje żadnego kodu i zużywa minimalne ilości zasobów. Decyzja o jego reaktywacji należy do algorytmu planującego, który uzależnia ją od sposobu, w jaki wątek wszedł w stan nieaktywności:

- Kiedy wątek usiłuje założyć blokadę wewnętrzną na obiekt (ale nie utworzyć obiekt klasy `Lock` z biblioteki `java.util.concurrent`), który jest aktualnie w dyspozycji innego wątku, zostaje *zablokowany* (blokady `java.util.concurrent` opisujemy w punkcie 12.4.3, „Obiekty klasy `Lock`”, a blokady wewnętrzne obiektów w punkcie 12.4.5, „Słowo kluczowe `synchronized`”). Wątek zostaje odblokowany, gdy wszystkie pozostałe wątki zwolnią blokadę, a algorytm planujący zezwoli mu na przejęcie tego obiektu.
- Kiedy wątek czeka, aż inny wątek powiadomi algorytm planujący o warunku, wchodzi w stan WAITING (oczekujący). Warunki opisujemy w punkcie 12.4.4, „Warunki”. Stan ten jest wyzwany przez wywołanie metody `Object.wait` lub `Thread.join` bądź oczekiwanie na obiekt klasy `Lock` lub `Condition` z biblioteki `java.util.concurrent`. W praktyce różnica pomiędzy stanem zablokowania a oczekiwania nie jest jasna.
- Niektóre metody posiadają parametr określający długość czasu wykonywania. Ich wywołanie powoduje wejście wątku w stan TIMED WAITING. Stan ten utrzymuje się, aż upłynie określony czas lub wątek odbierze odpowiednie powiadomienie. Do tego typu metod zalicza się metodę `Thread.sleep` oraz czasowe wersje metod `Object.wait`, `Thread.join`, `Lock.tryLock` i `Condition.wait`.

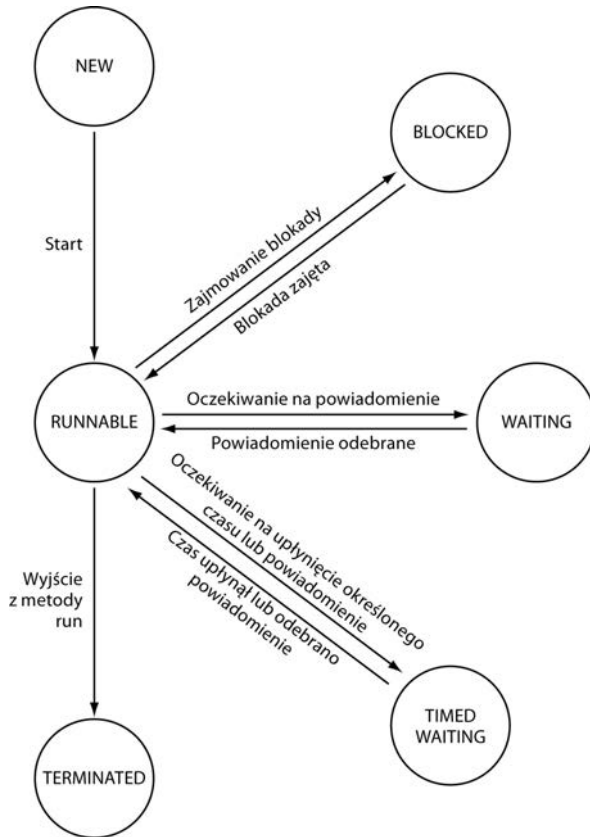
Rysunek 12.1 przedstawia stany, w których może się znaleźć wątek, oraz możliwe przejścia pomiędzy poszczególnymi stanami. Kiedy wątek zostanie zablokowany lub przejdzie w stan oczekiwania (bądź zostanie zakończony), planowane jest uruchomienie kolejnego wątku. Kiedy wątek jest reaktywowany (ponieważ skończył się jego czas oczekiwania lub zajął blokadę), algorytm planujący sprawdza, czy ma on wyższy priorytet niż aktualnie działające wątki. Jeśli tak, wywłaszcza jeden z uruchomionych wątków i uruchamia nowy wątek.

12.2.4. Zamykanie wątków

Wątek może zostać zamknięty na jeden z dwóch sposobów:

- naturalnie wraz z zakończeniem metody `run`;
- niespodziewanie z powodu nieprzechwyconego wyjątku, który zakończył metodę `run`.

Rysunek 12.1.
Stany wątków



Do zamykania wątków służy metoda `stop`. Wyrzuca ona błąd `ThreadDeath`, który zabija wątek. Metoda ta jest jednak odradzana, dlatego nie powinno się jej już używać.

`java.lang.Thread` **1.0**

- `void join()`
Oczekuje na zamknięcie określonego wątku.
- `void join(long millis)`
Czeka na zamknięcie określonego wątku albo na upływ określonej liczby milisekund.
- `Thread.State getState()` **5.0**
Zwraca stan wątku: `NEW`, `RUNNABLE`, `BLOCKED`, `WAITING`, `TIMED_WAITING` lub `TERMINATED`.
- `void stop()`
Zatrzymuje wątek. Metoda ta jest odradzana.
- `void suspend()`
Zawiesza wykonywanie wątku. Metoda odradzana.

- `void resume()`

Ponownie uaktywnia wątek. Metoda ta może działać tylko po wywołaniu metody `suspend()`. Metoda odradzana.

12.3. Własności wątków

W tym podrozdziale opisujemy różne własności wątków: stan przerywania, wątki demony, procedury obsługi nieprzechwyconych wyjątków oraz garść starych elementów, których nie powinno się już używać.

12.3.1. Przerywanie wątków

Wątek kończy działanie w chwili zwrócenia przez jego metodę `run` wartości w wyniku wywołania instrukcji `return`, po wykonaniu ostatniej instrukcji w ciele metody `run` lub jeśli wystąpi nieprzechwycony w tej metodzie wyjątek. W pierwszej wersji Javy istniała jeszcze metoda `stop`, którą mógł wywołać jeden wątek w celu zamknięcia innego wątku. Jest ona jednak obecnie odradzana. Powody tego stanu rzeczy opisujemy w punkcie 12.4.13, „Dlaczego metody `stop` i `suspend` są wycofywane”.

Jedynym sposobem na *zmuszenie* wątku do zakończenia działania jest wywołanie wycofywanej metody `stop`. Natomiast za pomocą metody `interrupt` można *poprosić* o zamknięcie wątku.

Wywołanie metody `interrupt` na rzecz wątku powoduje ustawienie jego **statusu przerywania** (ang. *interrupted state*). Jest to zmienna logiczna obecna w każdym wątku. Każdy wątek powinien co jakiś czas sprawdzać, czy nie został przerywany.

Aby sprawdzić, czy status przerywania został ustawiony, należy najpierw pobrać bieżący wątek za pomocą metody `Thread.currentThread`, a następnie wywołać metodę `isInterrupted`:

```
while (!Thread.currentThread().isInterrupted() && więcej instrukcji)
{
    dodatkowe działania
}
```

Statusu przerywania nie można jednak sprawdzić, jeśli wątek jest zablokowany. W takiej sytuacji do gry wchodzi wyjątek `InterruptedException`. Kiedy metoda `interrupt` jest wywoływana na rzecz wątku, który blokuje metody takie jak `sleep` czy `wait`, wywołania blokujące zostają zakończone przez wyjątek `InterruptedException` (istnieją metody blokujące wejścia-wyjścia, których nie można przerwać; w takiej sytuacji należy rozważyć użycie ich przerywalnych zamienników — szczegółowe informacje na ten temat znajdują się w rozdziałach 2. i 4. drugiego tomu).

Nie istnieje żaden wymóg formalny, że wątek, który został przerywany, musi zostać zamknięty. Przerywanie wątku powoduje jedynie zwrócenie jego uwagi, a decyzja, jak na to zareagować, należy do niego samego. Niektóre bardzo ważne wątki powinny obsługiwać wyjątek i kontynuować pracę. Często jednak przerywanie jest przez wątek interpretowane jako żądanie zamknięcia. Metoda `run` takiego wątku wygląda następująco:

```

Runnable r = () -> {
    try
    {
        . . .
        while (!Thread.currentThread().isInterrupted() && więcej zadań)
        {
            jakieś czynności
        }
    }
    catch(InterruptedException e)
    {
        // działanie wątku przerwano w czasie uśpienia lub oczekiwania
    }
    finally
    {
        sprzątanie w razie potrzeby
    }
    // koniec metody run oznacza koniec wątku
};

```

Wywoływanie metody `isInterrupted` staje się bezcelowe, jeśli po każdej iteracji wywołana jest metoda `sleep` (lub inna pozwalająca na przerwanie). Jeśli metoda `sleep` zostanie wywołana na rzecz wątku z ustawionym statusem przerwania, wątek ten nie zostanie uśpiony. Zamiast tego jego status zostanie wyzerowany oraz zostanie zgłoszony wyjątek `InterruptedException`. Dlatego jeśli pętla zawiera wywołanie metody `sleep`, nie należy w niej sprawdzać statusu przerwania. W zamian należy przechwycić wyjątek `InterruptedException`:

```

Runnable r = () -> {
    try
    {
        . . .
        while (instrukcje)
        {
            instrukcje
            Thread.sleep(delay);
        }
    }
    catch(InterruptedException e)
    {
        // Wątek został przerwany w czasie uśpienia.
    }
    finally
    {
        Czyszczenie w razie potrzeby
    }
    // Wyjście z metody run powoduje zamknięcie wątku.
}

```



Istnieją dwie bardzo podobne do siebie metody: `interrupted` oraz `isInterrupted`. Pierwsza z nich jest statyczna i sprawdza, czy *bieżący* wątek nie został przerwany. Dodatkowo jej wywołanie powoduje wyzerowanie statusu przerwania wątku. Druga natomiast jest metodą obiektową, za pomocą której można sprawdzić status przerwania dowolnego wątku, bez jego zmiany.

Często spotyka się fragmenty kodu, w których wyjątek `InterruptedException` jest tłumiony w następujący sposób:

```
void mySubTask()
{
    . . .
    try { sleep(delay); }
    catch (InterruptedException e) {} // Nie ignoruj!
    . . .
}
```

Nie należy tego robić! Jeśli nie masz żadnego dobrego pomysłu na klauzulę `catch`, masz jeszcze dwa inne dobre wyjścia:

- W klauzuli `catch` umieść instrukcję `Thread.currentThread().interrupt()`, która ustawi status przerwania. Dzięki temu wywołujący będzie mógł sprawdzić wyjątek.

```
void mySubTask()
{
    . . .
    try { sleep(delay); }
    catch (InterruptedException e) { Thread.currentThread().interrupt(); }
    . . .
}
```

- Lepszym wyjściem jest dodanie do metody instrukcji `throws InterruptedException` i pominięcie bloku `try`. Wtedy wywołujący (lub ostatecznie metoda `run`) może przechwycić ten wyjątek.

```
void mySubTask() throws InterruptedException
{
    . . .
    sleep(delay);
    . . .
}
```

java.lang.Thread **1.0**

- `void interrupt()`

Wysła żądanie przerwania do wątku. Status przerwania zostaje ustawiony na `true`. Jeśli wątek jest aktualnie zablokowany przez metodę `sleep`, zgłaszany jest wyjątek `InterruptedException`.

- `static boolean interrupted()`

Sprawdza, czy *bieżący* wątek (to znaczy ten, który wykonuje tę instrukcję) nie został przerwany. Należy zauważyć, że jest to metoda statyczna. Jej wywołanie ma jeden efekt uboczny — zeruje status przerwania bieżącego wątku na wartość `false`.

- `boolean isInterrupted()`

Sprawdza, czy wątek nie został przerwany. W przeciwieństwie do statycznej metody `interrupted`, ta nie zmienia statusu przerwania wątku.

- `static Thread currentThread()`

Zwraca obiekt `Thread` reprezentujący aktualnie wykonywany wątek.

12.3.2. Wątki demony

Aby zamienić zwykły wątek w **demon**, należy użyć poniższej instrukcji:

```
t.setDaemon(true);
```

Nie ma w nim jednak nic demonicznego. Demon to taki wątek, którego istnienie polega na służeniu innym wątkom. Należą do nich wątki zegarowe, które wysyłają w równych odstępach czasu tyknięcia zegara do innych wątków, lub takie, które usuwają przestarzałe obiekty z pamięci podręcznej. Jeśli w programie pozostaną same demony, maszyna wirtualna zostaje zamknięta, ponieważ nie ma sensu kontynuować działania programu, w którym nie ma nic poza demonami.

```
java.lang.Thread 1.0
```

```
■ void setDaemon(boolean isDaemon)
```

Określa, czy wątek jest demonem, czy zwykłym wątkiem. Wywołanie tej metody musi nastąpić przed uruchomieniem wątku.

12.3.3. Nazwy wątków

Domyślnie wątkom nadawane są proste nazwy typu Thread-2. Można je zmieniać na własne za pomocą metody setName:

```
var t = new Thread(runnable);
t.setName("Robot sieciowy");
```

Ułatwia to orientację w zrzutach wątków.

12.3.4. Procedury obsługi nieprzechwyconych wyjątków

Metoda run wątku nie może zgłaszać wyjątków kontrolowanych, ale jej działanie może zakończyć wyjątek niekontrolowany. W takiej sytuacji wątek zostaje zamknięty.

Nie ma jednak klauzuli catch, do której wyjątek taki można by było przesłać. Zamiast tego bezpośrednio przed zamknięciem wątku wyjątek jest przekazywany do procedury obsługi nieprzechwyconych wyjątków.

Obiekt ten musi należeć do klasy implementującej interfejs Thread.UncaughtExceptionHandler. Interfejs ten posiada jedną metodę:

```
void uncaughtException(Thread t, Throwable e)
```

Procedurę obsługi w wątku można zainstalować za pomocą metody setUncaughtExceptionHandler. Można także dodać procedurę domyślną dla wszystkich wątków za pomocą statycznej metody setDefaultUncaughtExceptionHandler z klasy Thread. Taka zapasowa procedura mogłaby za pośrednictwem API rejestracyjnego wysyłać raporty o nieprzechwyconych wyjątkach do dziennika.

Jeśli domyślna procedura obsługi nie zostanie zainstalowana, będzie ona `null`. Jeśli jednak zabraknie procedury obsługi dla konkretnego wątku, będzie nią jego obiekt typu `ThreadGroup`.



Grupa to kolekcja wątków, którymi można zarządzać razem. Domyślnie wszystkie tworzone wątki należą do tej samej grupy, ale można założyć inne zgrupowania. Ponieważ teraz są lepsze narzędzia do operowania kolekcjami wątków, nie należy w programach używać grup.

Klasa `ThreadGroup` implementuje interfejs `Thread.UncaughtExceptionHandler`. Znajdująca się w nim metoda `uncaughtException` wykonuje następujące działania:

1. Jeśli grupa wątków posiada rodzica, wywoływana jest metoda `uncaughtException` grupy nadrzędnej.
2. W przeciwnym razie, jeśli metoda `Thread.getDefaultExceptionHandler` zwraca procedurę obsługi niebędącą `null`, metoda `uncaughtException` zostaje wywołana.
3. W przeciwnym razie, jeśli `Throwable` jest egzemplarzem klasy `ThreadDeath`, nic się nie dzieje.
4. W przeciwnym razie nazwa wątku i dane ze śledzenia stosu zostają wydrukowane w strumieniu `System.err`.

Dane ze śledzenia stosu z pewnością każdy widział już wiele razy w swoich programach.

`java.lang.Thread` **1.0**

- `static void setDefaultUncaughtExceptionHandler(Thread.UncaughtExceptionHandler handler)` **5.0**

- `static Thread.UncaughtExceptionHandler getDefaultUncaughtExceptionHandler()` **5.0**

Ustawia lub zwraca domyślną procedurę obsługi dla nieprzechwyconych wyjątków.

- `void setUncaughtExceptionHandler(Thread.UncaughtExceptionHandler handler)` **5.0**

- `Thread.UncaughtExceptionHandler getUncaughtExceptionHandler()` **5.0**

Ustawia lub zwraca procedurę obsługi nieprzechwyconych wyjątków.

Jeśli nie ma zainstalowanej procedury, jej funkcję pełni obiekt grupy wątków.

`java.lang.Thread.UncaughtExceptionHandler` **5.0**

- `void uncaughtException(Thread t, Throwable e)`

Zapisuje w dzienniku raport, gdy wątek zostanie zamknięty z powodu nieprzechwyconego wyjątku.

```
java.lang.ThreadGroup 1.0
```

- void uncaughtException(Thread t, Throwable e)

Wywołuje metodę nadrzędnej grupy wątków, jeśli taka istnieje, lub domyślną procedurę obsługi klasy Thread, jeśli istnieje domyślna procedura, lub w przeciwnym przypadku drukuje dane ze śledzenia stosu w standardowym strumieniu błędów (jeśli e jest obiektem typu ThreadDeath, dane ze śledzenia stosu są tłumione; obiekty ThreadDeath są generowane przez odradzaną metodę stop).

12.3.5. Priorytety wątków

Każdy wątek ma swój **priorytet** (ang. *priority*). Domyślnie wątek dziedziczy priorytet po wątku, w którym został utworzony. Aby zmniejszyć lub zwiększyć priorytet wątku, należy użyć metody `setPriority`. Priorytet wątku może mieć dowolną wartość z przedziału od `MIN_PRIORITY` (1 w klasie Thread) do `MAX_PRIORITY` (10 w klasie Thread). Priorytet normalny (`NORM_PRIORITY`) ma wartość 5.

Kiedy algorytm planujący musi wybrać nowy wątek, decyduje się na ten o najwyższym priorytecie. Należy jednak pamiętać, że priorytety wątków są w dużym stopniu *uzależnione od systemu*. Jeśli maszyna wirtualna korzysta z implementacji wątków leżącej u podłoża platformy, priorytety Javy są odwzorowywane na poziomy platformy, która może dysponować większą lub mniejszą liczbą poziomów priorytetu.

Na przykład system Windows wyróżnia siedem poziomów priorytetu, a więc niektóre z priorytetów Javy zostaną odwzorowane na tym samym poziomie priorytetów systemowych. W maszynie wirtualnej Javy firmy Oracle dla systemu Linux priorytety wątków są całkiem ignorowane — wszystkie wątki mają taki sam priorytet.

Priorytety wątków miały praktyczne zastosowanie we wczesnych wersjach Javy, które nie używały wątków systemu operacyjnego. Dziś nie powinno się już ich używać.

```
java.lang.Thread 1.0
```

- void setPriority(int newPriority)

Ustawia priorytet wątku. Wartość priorytetu musi się mieścić w przedziale od `Thread.MIN_PRIORITY` do `Thread.MAX_PRIORITY`. Normalny priorytet określa wartość `Thread.NORM_PRIORITY`.

- static int MIN_PRIORITY

Najmniejszy priorytet, jaki może mieć wątek. Wartość minimalnego priorytetu to 1.

- static int NORM_PRIORITY

Domyślny priorytet — domyślnie jest to wartość 5.

- static int MAX_PRIORITY

Najwyższy priorytet, jaki może mieć wątek. Maksymalna wartość priorytetu to 10.

12.4. Synchronizacja

W większości aplikacji wielowątkowych znajdujących praktyczne zastosowanie jeden zestaw danych jest współdzielony przez co najmniej dwa wątki. Co się stanie, jeśli dwa wątki mające dostęp do tego samego obiektu wywołają metodę zmieniającą jego stan? Jak pewnie się domyślasz, wątki mogą sobie wzajemnie przeszkadzać. Zależnie od kolejności dostępu do danych, w opisanych wyżej sytuacjach mogą powstawać uszkodzone obiekty. Sytuacje te nazywa się **wścigami** (ang. *race condition*).

12.4.1. Przykład sytuacji powodującej wścigi

Aby uniknąć uszkodzenia współdzielonych przez wątki danych, trzeba umieć *synchronizować dostęp* do nich. W tym podrozdziale zobaczysz, co się dzieje, jeśli zabraknie synchronizacji. W kolejnym natomiast nauczysz się synchronizować operacje dostępu do danych.

W kolejnym przykładzie kontynuujemy naszą symulację banku. W odróżnieniu od przykładu pokazanego w podrozdziale 12.1, „Czym są wątki”, w tym przypadku będziemy losowo wybierać źródło i cel przelewu. Ponieważ będą z tym problemy, dokładniej przyjrzymy się metodzie transfer klasy Bank.

```
public void transfer(int from, int to, double amount)
    // Ostrzeżenie: metoda niebezpieczna, jeśli wywoływana w kilku wątkach.
    {
        System.out.print(Thread.currentThread());
        accounts[from] -= amount;
        System.out.printf(" %10.2f z %d na %d", amount, from, to);
        accounts[to] += amount;
        System.out.printf(" Saldo ogólne: %10.2f%n", getTotalBalance());
    }
```

Poniżej znajduje się kod klasy Runnable. Jej metoda run przelewa pieniądze z określonego konta bankowego. W każdej iteracji metoda ta losowo wybiera jedno konto docelowe i sumę pieniędzy do przelania, wywołuje metodę transfer na rzecz obiektu banku i przechodzi w stan uśpienia.

```
Runnable r = () -> {
    try
    {
        while (true)
        {
            int toAccount = (int) (bank.size() * Math.random());
            double amount = MAX_AMOUNT * Math.random();
            bank.transfer(fromAccount, toAccount, amount);
            Thread.sleep((int) (DELAY * Math.random()));
        }
    }
    catch (InterruptedException e)
    {
    }
};
```

W żadnym momencie działania symulacji nie wiadomo, ile jest pieniędzy na każdym z kont. Wiadomo natomiast, że ogólna suma nie powinna się zmieniać, ponieważ program tylko przelewa środki pomiędzy różnymi kontami.

Na końcu każdej transakcji metoda `transfer` oblicza sumę pieniędzy dostępnych na wszystkich kontach i drukuje wynik.

Program ten nigdy się nie kończy. Aby go zamknąć, należy nacisnąć kombinację klawiszy `Ctrl+C`.

Oto typowy wydruk z programu:

```

. . .
Thread[Thread-11,5,main] 588.48 z 11 na 44 Saldo ogólne: 100000.00
Thread[Thread-12,5,main] 976.11 z 12 na 22 Saldo ogólne: 100000.00
Thread[Thread-14,5,main] 521.51 z 14 na 22 Saldo ogólne: 100000.00
Thread[Thread-13,5,main] 359.89 z 13 na 81 Saldo ogólne: 100000.00
. . .
Thread[Thread-36,5,main] 401.71 z 36 na 73 Saldo ogólne: 99291.06
Thread[Thread-35,5,main] 691.46 z 35 na 77 Saldo ogólne: 99291.06
Thread[Thread-37,5,main] 78.64 z 37 na 3 Saldo ogólne: 99291.06
Thread[Thread-34,5,main] 197.11 z 34 na 69 Saldo ogólne: 99291.06
Thread[Thread-36,5,main] 85.96 z 36 na 4 Saldo ogólne: 99291.06
. . .
Thread[Thread-4,5,main]Thread[Thread-33,5,main] 7.31 z 31 na 32 Saldo ogólne:
99979.24
627.50 z 4 na 5 Saldo ogólne: 99979.24
. . .

```

Jak widać, program zawiera poważny błąd. Przez kilka transakcji saldo łączne wszystkich rachunków wynosi 100 000 dolarów, co jest prawidłową kwotą, zważywszy, że jest 100 kont po 1000 dolarów. Jednak po jakimś czasie saldo ulega nieznacznej zmianie. Błędy w obliczeniach mogą się pojawić na krótko po uruchomieniu programu lub dopiero po dłuższym czasie. Taka sytuacja nie napawa optymizmem i z pewnością nikt nie chciałby złożyć w tym banku swoich ciężko zarobionych pieniędzy.

Spróbuj znaleźć błąd w kodzie na listingu 12.3, a rozwiązanie zagadki znajdziesz w kolejnej sekcji.

Listing 12.3. `unsynch/UnsynchBankTest.java`

```

package unsynch;

/**
 * Program demonstrujący zniszczenie danych spowodowane dostępem kilku wątków do struktury danych.
 * @version 1.32 2018-04-10
 * @author Cay Horstmann
 */
public class UnsynchBankTest
{
    public static final int NACCOUNTS = 100;
    public static final double INITIAL_BALANCE = 1000;
    public static final double MAX_AMOUNT = 1000;
    public static final int DELAY = 10;

```

```

public static void main(String[] args)
{
    var bank = new Bank(NACCOUNTS, INITIAL_BALANCE);
    for (int i = 0; i < NACCOUNTS; i++)
    {
        int fromAccount = i;
        Runnable r = () -> {
            try
            {
                while (true)
                {
                    int toAccount = (int) (bank.size() * Math.random());
                    double amount = MAX_AMOUNT * Math.random();
                    bank.transfer(fromAccount, toAccount, amount);
                    Thread.sleep((int) (DELAY * Math.random()));
                }
            }
            catch (InterruptedException e)
            {
            }
        };
        var t = new Thread(r);
        t.start();
    }
}

```

12.4.2. Wyścigi

W poprzednim podrozdziale napisaliśmy program, w którym kilka wątków aktualizowało salda na kontach bankowych. Po jakimś czasie wkraadał się błąd, który powodował pojawienie się lub zniknięcie pewnej kwoty pieniędzy. Problem ten występował w sytuacjach, w których dwa wątki równocześnie próbowały zaktualizować jedno konto. Wyobraźmy sobie, że dwa wątki w tej samej chwili wykonują poniższą instrukcję:

```
accounts[to] += amount;
```

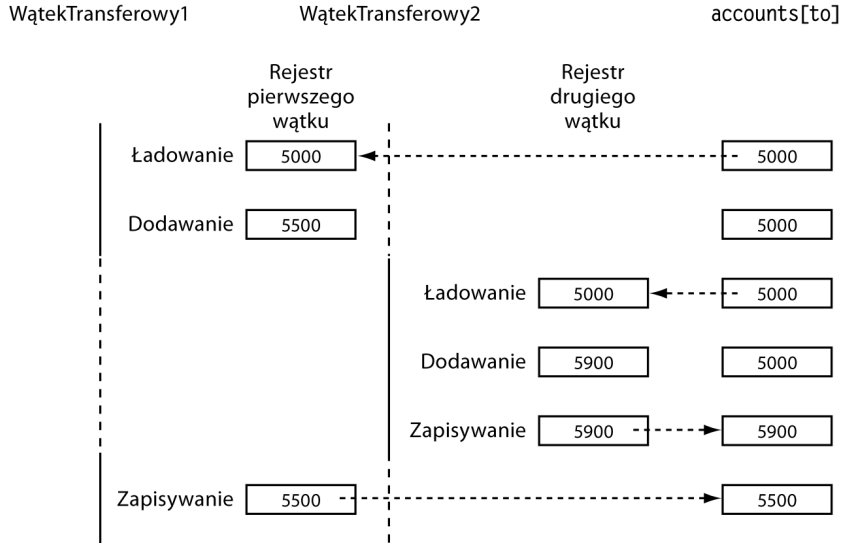
Problem polega na tym, że nie są to operacje **niepodzielne**. Instrukcja ta może zostać wykonana w następujący sposób:

1. Załadowanie `accounts[to]` do rejestru.
2. Dodanie wartości `amount`.
3. Zapisanie wyniku z powrotem w `accounts[to]`.

Wyobraźmy sobie teraz, że pierwszy z wątków wykonuje dwa pierwsze kroki i zostaje wyłączony. Następnie budzi się drugi wątek, który aktualizuje tę samą pozycję w tablicy `accounts`. Potem budzi się pierwszy wątek i kończy działanie, wykonując krok trzeci.

Ta czynność wymazuje zmiany dokonane przez drugi wątek, w wyniku czego zmienia się ogólna suma (zobacz rysunek 12.2).

Rysunek 12.2.
Jednoczesny
dostęp
przez dwa wątki



Nasz program testowy wykrywa ten błąd (oczywiście istnieje niewielkie ryzyko fałszywego alarmu, który może nastąpić w sytuacji, gdy zostanie zakłócona praca wątku przeprowadzającego test).



Istnieje możliwość podejrzenia kodu bajtowego maszyny wirtualnej wykonującego każdą z instrukcji klasy. W tym celu należy za pomocą poniższego polecenia zdekompilować plik *Bank.class*:

```
javap -c -v Bank
```

Na przykład kod bajtowy odpowiadający instrukcji `accounts[to] += amount` jest następujący:

```
aload_0
getField #2: //Field accounts:[D
iload 2
dup2
daload
dload_3
dadd
dastore
```

Nieważne, co oznaczają te wszystkie instrukcje. Problem polega na tym, że instrukcja zwiększenia wartości została rozbita na kilka mniejszych instrukcji, a praca wykonującego je wątku może zostać przerwana w każdym momencie.

Jakie jest ryzyko wystąpienia tego błędu? W przypadku nowoczesnego procesora wielordzeniowego jest ono dość duże. Zwiększyliśmy szanse na zaobserwowanie problemu na procesorze jednordzeniowym, przeplatając instrukcje drukowania z instrukcjami aktualizującymi saldo.

Jeśli usuniemy instrukcje drukowania, ryzyko znacznie się zmniejszy, ponieważ każdy wątek przed zaśnięciem będzie wykonywał bardzo mało pracy, a poza tym jest mało prawdopodobne, aby algorytm planujący wywłaszczył wątek w trakcie wykonywania obliczeń. Nie znaczy to jednak, że ryzyka wystąpienia błędu nie ma już w ogóle. Jeśli na poważnie obciążonej maszynie

uruchomimy bardzo dużo wątków, program nadal będzie robił błędy i nie pomoże usunięcie instrukcji drukujących. Na wystąpienie błędów może przyjść nam czekać kilka minut, godzin, a nawet dni. Szczerze mówiąc, w życiu programisty jest niewiele gorszych rzeczy od błędu, który daje o sobie znać nieregularnie.

Istotą problemu jest to, że działanie metody `transfer` może zostać przerwane w środku operacji. Gdybyśmy zapewnili ukończenie metody przed utratą przez wątek kontroli, stan obiektu konta bankowego byłby niezagrożony przez błędy.

12.4.3. Obiekty klasy `Lock`

Do dyspozycji programistów są dwa mechanizmy służące do ochrony bloków kodu przed jednoczesnym dostępem kilku wątków. Służy do tego słowo kluczowe `synchronized`, a w Java SE 5.0 wprowadzono klasę `ReentrantLock`. Słowo kluczowe `synchronized` automatycznie zakłada blokadę oraz tworzy odpowiadający jej warunek, dzięki czemu jest bardzo pożytecznym i wygodnym w użyciu narzędziem wykorzystywanym w większości sytuacji, w których potrzebna jest jawna blokada. Wydaje nam się jednak, że działanie tego słowa kluczowego łatwiej zrozumieć po zapoznaniu się z blokadami i warunkami osobno. Klasy implementujące te podstawowe funkcje znajdują się w pakiecie `java.util.concurrent`. Opisujemy je poniżej i w punkcie 12.4.4, „Warunki”. Po zapoznaniu się z tymi podstawowymi elementami przejdziemy do punktu 12.4.5, „Słowo kluczowe `synchronized`”.

Szkielet konstrukcji chroniącej blok kodu przy użyciu klasy `ReentrantLock` ma następującą postać:

```
myLock.lock();           // Obiekt klasy ReentrantLock.
try
{
    sekcja krytyczna
}
finally
{
    myLock.unlock();     // Zapewnienie, że blokada zostanie zdjęta, nawet jeśli wystąpi wyjątek.
}
```

Dostęp do sekcji krytycznej powyższej instrukcji w jednym czasie może mieć tylko jeden wątek. Kiedy jeden wątek zablokuje obiekt blokady, żaden inny wątek nie będzie mógł przejść przez instrukcję `lock`. Jeśli jakiś inny wątek wywoła metodę `lock`, zostanie dezaktywowany do czasu, aż poprzedni wątek odblokuje obiekt blokady.



Metoda `unlock` musi się bezwzględnie znajdować w bloku `finally`. Jeśli kod w sekcji krytycznej spowoduje wyjątek, blokada musi zostać zdjęta. W przeciwnym przypadku reszta wątków pozostanie zablokowana na zawsze.



Z blokadami nie można używać instrukcji `try` z zasobami. Przede wszystkim metoda zdejmująca blokadę nie nazywa się `close`. Jednak nawet gdyby zmieniono jej nazwę, to instrukcja `try` z zasobami i tak by nie działała. W jej nagłówku powinna się znaleźć deklaracja nowej zmiennej, a w blokadzie używa się jednej zmiennej, z której korzystają różne wątki.

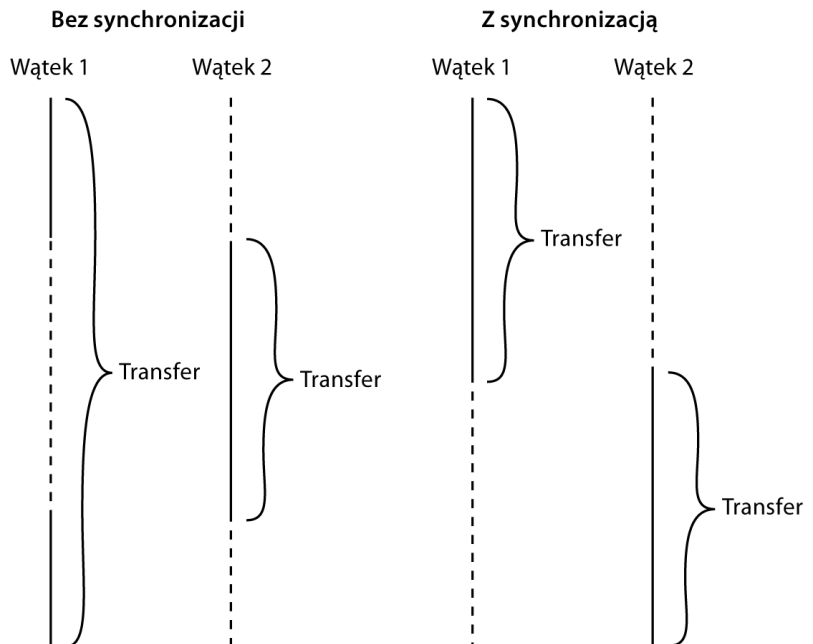
Spróbujmy za pomocą blokady ochronić metodę transfer z klasy Bank.

```
public class Bank
{
    private var bankLock = new ReentrantLock(); // Klasa ReentrantLock implementuje
                                                // interfejs Lock.
    . . .
    public void transfer(int from, int to, int amount)
    {
        bankLock.lock();
        try
        {
            System.out.print(Thread.currentThread());
            accounts[from] -= amount;
            System.out.printf(" %10.2f z %d na %d", amount, from, to);
            accounts[to] += amount;
            System.out.printf(" Saldo ogólne: %10.2f%n", getTotalBalance());
        }
        finally
        {
            bankLock.unlock();
        }
    }
}
```

Załóżmy, że jakiś wątek wywołuje metodę transfer, ale zostaje wywłaszczony przed jej ukończeniem. Następnie inny wątek również wywołuje tę metodę. Nie może on jednak założyć blokady i zostaje zablokowany wywołaniem metody lock. Jest dezaktywowany i musi poczekać, aż pierwszy wątek skończy wykonywanie metody transfer. Kiedy ten zdejmie blokadę, drugi wątek może kontynuować (zobacz rysunek 12.3).

Rysunek 12.3.

Porównanie wątków synchronizowanych i niesynchronizowanych



Wypróbuj, czy to działa. Dodaj kod blokujący do metody `transfer` i ponownie uruchom program, a przekonasz się, że saldo bankowe nie zmienia się bez względu na długość czasu działania programu.

Należy zauważyć, że każdy obiekt klasy `Bank` posiada własny obiekt klasy `ReentrantLock`. Jeśli dwa wątki próbują uzyskać dostęp do tego samego obiektu `Bank`, blokada ustawia je w kolejce. Jeśli natomiast każdy z wątków dobiera się do innego obiektu `Bank`, zakładają one osobne blokady i żaden z nich nie jest blokowany. Jest to jak najbardziej prawidłowe działanie, ponieważ wątki działające na różnych obiektach nie mogą sobie przeszkadzać.

Blokada ta jest **wielowejściowa** (ang. *reentrant*), ponieważ wątek może wielokrotnie zakładać blokadę, którą już posiada. Blokada posiada **licznik pamiętający** liczbę zagnieżdżonych wywołań metody `lock`. Dlatego, aby blokada została zwolniona, wątek musi wywołać tyle razy metodę `unlock`, ile razy wywołał metodę `lock`. Dzięki temu kod chroniony przez blokadę może wywołać inną metodę, która wykorzystuje te same blokady.

Na przykład metoda `transfer` wywołuje metodę `getTotalBalance`, która blokuje obiekt `bankLock` mający obecnie licznik o wartości 2. Kiedy metoda `getTotalBalance` kończy działanie, wartość licznika spada do 1. Zakończenie metody `transfer` zmniejsza go do 0 i wątek zwalnia blokadę.

Z reguły ochroną obejmuje się bloki kodu, które aktualizują lub badają współdzielone obiekty. Daje to pewność, że operacja zostanie zakończona, zanim inny wątek będzie mógł użyć tego samego obiektu.



Trzeba uważać, aby procedury zawarte w sekcji krytycznej nie zostały pominięte z powodu wystąpienia wyjątku. Jeśli wyjątek wystąpi przed końcem sekcji, klauzula `finally` zwolni blokadę, ale obiekt może pozostać w naruszonym stanie.

`java.util.concurrent.locks.Lock` **5.0**

■ `void lock()`

Zakłada blokadę. Zostaje zablokowana, jeśli blokada ta jest aktualnie w posiadaniu innego wątku.

■ `void unlock()`

Zwalnia blokadę.

`java.util.concurrent.locks.ReentrantLock` **5.0**

■ `ReentrantLock()`

Tworzy wielowejściową blokadę, za pomocą której można chronić sekcję krytyczną.

■ `ReentrantLock(boolean fair)`

Tworzy obiekt blokady z określoną zasadą uczciwości. Uczciwa blokada ustawia na pierwszym miejscu wątek, który czekał najdłużej. Jednak zasada ta może powodować duże straty szybkości. Dlatego domyślnie blokady nie muszą być uczciwe.



Opcja uczciwości wydaje się lepszym rozwiązaniem, ale uczciwe blokady są *znacznie wolniejsze* od zwykłych. Uczciwe blokady należy stosować wyłącznie w sytuacjach, w których takie zachowanie jest całkowicie niezbędne. Stosując uczciwą blokadę, nie ma gwarancji, że algorytm odpowiedzialny za harmonogram uruchamiania wątków również jest uczciwy. Jeśli algorytm ten dyskryminuje wątek, który oczekiwał przez długi czas na blokadę, blokada nie ma szansy potraktować go lepiej.

12.4.4. Warunki

Często zdarza się tak, że po wejściu do sekcji krytycznej wątek dowiaduje się, iż nie może kontynuować, dopóki nie zostanie spełniony warunek. Do zarządzania wątkami, które użyły blokady, ale nie mogą zrobić nic pożytecznego, służą **obiekty warunków**. W tym rozdziale opisujemy implementację warunków w bibliotece Javy (ze względu na przeszłość obiekty warunków są czasami nazywane **zmiennymi warunkowymi**).

Ulepszmy naszą symulację banku. Nie chcemy, aby pieniądze były przelewane z kont, na których nie ma wystarczających środków. Zauważ, że nie możemy użyć instrukcji jak poniżej:

```
if (bank.getBalance(from) >= amount)
    bank.transfer(from, to, amount);
```

Jest całkiem możliwe, że aktualny wątek zostanie dezaktywowany pomiędzy pomyślnym wynikiem testu a wywołaniem metody `transfer`.

```
if (bank.getBalance(from) >= amount)
    // W tym miejscu wątek może być nieaktywny.
    bank.transfer(from, to, amount);
```

Zanim wątek zostanie ponownie uruchomiony, saldo na koncie może spaść poniżej minimalnej potrzebnej kwoty. Należy przypilnować, aby żaden wątek nie zmodyfikował salda pomiędzy testem a wykonaniem przelewu. Dlatego zarówno test, jak i operację przelewu chronimy przy użyciu blokady:

```
public void transfer(int from, int to, int amount)
{
    bankLock.lock();
    try
    {
        while (accounts[from] < amount)
        {
            // czekanie
            . . .
        }
        // przelew środków
        . . .
    }
    finally
    {
        bankLock.unlock();
    }
}
```

Kolej na podjęcie decyzji, co zrobić, jeśli na koncie będzie za mało pieniędzy. W takiej sytuacji czekamy, aż jakiś inny wątek zwiększy jego saldo. Pamięamy jednak, że pierwszy wątek całkowicie zablokował dostęp do obiektu `bankLock`, przez co żaden inny wątek nie może dokonać depozytu. W takim przypadku do gry wchodzą obiekty warunków.

Z obiektem blokady może być związanych nawet kilka warunków. Obiekty warunków tworzy się za pomocą metody `newCondition`. Istnieje zwyczaj nadawania obiektom warunków takich nazw, które w jakiś sposób przypominają reprezentowane warunki. Na przykład w poniższym fragmencie programu tworzymy obiekt warunku reprezentujący warunek wystarczających środków.

```
class Bank
{
    private Condition sufficientFunds;
    . . .
    public Bank()
    {
        . . .
        sufficientFunds = bankLock.newCondition();
    }
}
```

Jeśli metoda `transfer` odkryje, że na koncie nie ma dostępnych wystarczających środków, wykonuje instrukcję `sufficientFunds.await()`.

Dzięki temu aktualny wątek zostaje dezaktywowany i następuje zdjęcie blokady. To umożliwia działanie kolejnemu wątkowi, który, mamy nadzieję, zwiększy saldo konta.

Pomiędzy wątkiem, który oczekuje na blokadę, a wątkiem, który wywołał metodę `await`, istnieje zasadnicza różnica. Ten drugi zostaje umieszczony w kolejce **wątków oczekujących** (ang. *wait set*) warunku. Wątek ten *nie* przechodzi w stan wykonywalności, dopóki inny wątek nie wywoła metody `signalAll` na rzecz tego samego warunku.

Inny wątek przelewający pieniądze powinien wykonać instrukcję `sufficientFunds.signalAll()`.

Powoduje ona reaktywację wszystkich wątków oczekujących na warunek. Wątki usunięte z kolejki oczekujących są z powrotem wykonywalne, a algorytm odpowiedzialny za harmonogram w końcu ponownie je uaktywni. Wtedy spróbują one ponownie wejść do obiektu. Jak tylko będzie dostępna blokada, jeden z wątków ją założy i będzie kontynuował pracę *od momentu, w którym ją przerwał*, wracając z wywołania metody `await`.

W tym momencie wątek powinien ponownie sprawdzić warunek. Nie ma gwarancji, że teraz zostanie on spełniony. Metoda `signalAll` tylko sygnalizuje wątkom, że tym razem warunek *może* zostać spełniony i dlatego dobrze by było to sprawdzić.



Ogólnie rzecz biorąc, metoda `await` powinna być wywoływana w pętli o następującej formie:

```
while (!(można kontynuować))
    condition.await();
```

Ważne jest, aby metoda `signalAll` była wywoływana także przez *jakiś* inny wątek, ponieważ wątek wywołujący metodę `await` nie ma możliwości reaktywowania samego siebie. Musi on liczyć na inne wątki. Jeśli żaden z nich go nie reaktywuje, nie zostanie on nigdy więcej uruchomiony. To może prowadzić do nieprzyjemnych **zakleszczeń** (ang. *deadlock*). Jeśli prawie wszystkie wątki zostaną zablokowane, a ostatni aktywny wątek wywoła metodę `await`, nie odblokowując reszty, nie będzie komu zdjąć blokady i program zawiesi się.

Kiedy powinno się wywoływać metodę `signalAll`? Główna reguła nakazuje zrobienie tego zawsze wtedy, gdy stan obiektu zmieni się w taki sposób, który może być korzystny dla wątków oczekujących. Na przykład wątki powinny mieć możliwość sprawdzenia salda na koncie za każdym razem, gdy ulegnie ono zmianie. W naszym przykładowym programie metodę `signalAll` wywołujemy po zakończeniu przelewu pieniędzy.

```
public void transfer(int from, int to, int amount)
{
    bankLock.lock();
    try
    {
        while (accounts[from] < amount)
            sufficientFunds.await();
        // przelew środków
        . . .
        sufficientFunds.signalAll();
    }
    finally
    {
        bankLock.unlock();
    }
}
```

Należy pamiętać, że wywołanie metody `signalAll` nie powoduje natychmiastowej aktywacji oczekującego wątku. Ona tylko odblokowuje oczekujące wątki, aby mogły konkurować o wejście do obiektu po tym, jak bieżący wątek zwolni blokadę.

Istnieje także metoda `signal`, która odblokowuje tylko jeden losowo wybrany wątek. Jest to mniej obciążająca czynność niż odblokowywanie wszystkich wątków, ale wiąże się z nią pewne ryzyko. Jeśli losowo wybrany wątek „dojdzie do wniosku”, że nadal nie może nic zrobić, zostanie z powrotem zablokowany. Jeśli żaden inny wątek nie wywoła metody `signal` jeszcze jeden raz, system ulegnie zakleszczeniu.



Wątek pozostający w posiadaniu blokady warunku może na jego rzecz wywołać tylko metodę `await`, `signalAll` lub `signal`.

Po uruchomieniu programu przedstawionego na listingu 12.4 widać, że nie ma żadnych błędów w obliczeniach. Saldo ogólne cały czas wynosi 1000 dolarów. Saldo żadnego z kont nigdy nie jest ujemne (przypominamy, że aby zakończyć program, trzeba wcisnąć kombinację klawiszy *Ctrl+C*). Da się również zauważyć, że program działa nieco wolniej — jest to cena, jaką płacimy za synchronizację.

Listing 12.4. synch/Bank.java

```

package synch;

import java.util.concurrent.locks.*;

/**
 * Bank z kilkoma kontami, kontrolujący dostęp za pomocą blokad
 * @version 1.30 2004-08-01
 * @author Cay Horstmann
 */
public class Bank
{
    private final double[] accounts;
    private Lock bankLock;
    private Condition sufficientFunds;

    /**
     * Tworzy bank
     * @param n liczba kont
     * @param initialBalance saldo początkowe na każdym koncie
     */
    public Bank(int n, double initialBalance)
    {
        accounts = new double[n];
        Arrays.fill(accounts, initialBalance);
        bankLock = new ReentrantLock();
        sufficientFunds = bankLock.newCondition();
    }

    /**
     * Przelewa pieniądze pomiędzy kontami.
     * @param from konto, z którego ma nastąpić przelew
     * @param to konto, na które mają zostać przelane środki
     * @param amount kwota do przelania
     */
    public void transfer(int from, int to, double amount) throws InterruptedException
    {
        bankLock.lock();
        try
        {
            while (accounts[from] < amount)
                sufficientFunds.await();
            System.out.print(Thread.currentThread());
            accounts[from] -= amount;
            System.out.printf(" %10.2f z %d na %d", amount, from, to);
            accounts[to] += amount;
            System.out.printf(" Saldo ogólne: %10.2f%n", getTotalBalance());
            sufficientFunds.signalAll();
        }
        finally
        {
            bankLock.unlock();
        }
    }
}

/**

```

```

    *Zwraca sumę sald wszystkich kont.
    *@return saldo ogólne
    */
    public double getTotalBalance()
    {
        bankLock.lock();
        try
        {
            double sum = 0;

            for (double a : accounts)
                sum += a;

            return sum;
        }
        finally
        {
            bankLock.unlock();
        }
    }

    /**
     *Zwraca liczbę kont w banku.
     *@return liczba kont
     */
    public int size()
    {
        return accounts.length;
    }
}

```

Poprawne zastosowanie warunków w praktyce może być sporym wyzwaniem. Przed podjęciem próby zaimplementowania własnych obiektów warunków dobrze by było najpierw wziąć pod uwagę jedną z konstrukcji opisanych w podrozdziale 12.5, „Kolekcje bezpieczne wątkowo”.

`java.util.concurrent.locks.Lock` **5.0**

- `Condition newCondition()`

Zwraca obiekt warunku związany z blokadą.

`java.util.concurrent.locks.Condition` **5.0**

- `void await()`

Umieszcza wątek w kolejce oczekujących do warunku.

- `void signalAll()`

Odblokowuje wszystkie wątki znajdujące się w kolejce oczekujących do warunku.

- `void signal()`

Odblokowuje losowo wybrany wątek znajdujący się w kolejce oczekujących do warunku.

12.4.5. Słowo kluczowe synchronized

W poprzednich podrozdziałach nauczyliśmy się używać obiektów typu `Lock` i `Condition`. Zanim przejdziemy dalej, zrobimy podsumowanie najważniejszych wiadomości na temat blokad i warunków:

- Blokada chroni blok kodu, pozwalając wykonywać go tylko jednemu wątkowi w danym czasie.
- Blokada zarządza wątkami, które próbują wejść do chronionego segmentu kodu.
- Z blokadą może być związany jeden lub więcej obiektów warunkowych.
- Każdy obiekt warunkowy zarządza wątkami, które weszły do sekcji kodu chronionego, ale które nie mogą kontynuować działania.

Interfejsy `Lock` i `Condition` umożliwiają programistom zyskanie większej kontroli nad blokadami. W większości sytuacji kontrola ta jest jednak zbędna, ponieważ można wykorzystać mechanizm wbudowany w język. Od wersji 1.0 każdy obiekt w Javie posiada *blokadę wewnętrzną*. Jeśli w deklaracji metody zostanie użyte słowo kluczowe `synchronized`, blokada obiektu chroni całą tę metodę. To znaczy, że aby ją wywołać, wątek musi założyć wewnętrzną blokadę obiektu.

Innymi słowy, poniższy kod:

```
public synchronized void metoda()
{
    ciało metody
}
```

jest równoważny z tym:

```
public void metoda()
{
    this.intrinsicLock.lock();
    try
    {
        ciało metody
    }
    finally { this.intrinsicLock.unlock(); }
}
```

Na przykład zamiast stosować blokadę jawną, wystarczy zadeklarować metodę transfer z klasy `Bank` jako synchronizowaną (`synchronized`).

Z wewnętrzną blokadą obiektu jest związany jeden warunek. Metoda `wait` dodaje wątek do kolejki oczekujących, a metody `notifyAll` i `notify` odblokowują oczekujące wątki. Innymi słowy, wywołanie metody `wait` lub `notifyAll` jest równoznaczne z poniższym:

```
intrinsicCondition.await();
intrinsicCondition.signalAll();
```



Metody `wait`, `notifyAll` i `notify` są metodami finalnymi klasy `Object`. Aby uniknąć konfliktów nazw, odpowiadające im metody w interfejsie `Condition` zostały nazwane `await`, `signalAll` i `signal`.

Na przykład implementacja klasy `Bank` może wyglądać następująco:

```
class Bank
{
    private double[] accounts;

    public synchronized void transfer(int from, int to, int amount) throws
    InterruptedException
    {
        while (accounts[from] < amount)
            wait(); // Oczekiwanie na warunek wewnętrznej blokady obiektu.
        accounts[from] -= amount;
        accounts[to] += amount;
        notifyAll(); // Powiadomienie wszystkich wątków oczekujących na warunek.
    }
    public synchronized double getTotalBalance() { . . . }
}
```

Jak widać, słowo kluczowe `synchronized` pozwala na pisanie znacznie bardziej zwięzłego kodu. Oczywiście, aby go zrozumieć, trzeba wiedzieć, że każdy obiekt posiada wewnętrzną blokadę, która z kolei posiada wewnętrzny warunek. Blokada zarządza wątkami, które próbują wejść do metody synchronizowanej. Warunek zajmuje się wątkami, które wywołały metodę `wait`.



Metody synchronizowane są względnie proste. Jednak początkujący często szarpia się z warunkami. Przed przejściem do używania metod `wait` i `notifyAll` lepiej zastanowić się nad użyciem jednej z konstrukcji opisanych w podrozdziale 12.5, „Kolejki bezpieczne wątkowo”.

Synchronizowane mogą być także metody statyczne. Jeśli taka metoda zostanie wywołana, uzyskuje dostęp do blokady wewnętrznej obiektu związanej z nią klasy. Jeśli na przykład klasa `Bank` zawierałaby statyczną metodę synchronizowaną, blokada obiektu `Bank.class` byłaby blokowana w chwili wywołania tej metody. W wyniku tego żaden inny wątek nie mógłby wywołać tej ani żadnej innej statycznej metody synchronizowanej tej klasy.

Wewnętrzne blokady i warunki mają pewne ograniczenia. Oto niektóre z nich:

- Nie można przerwać wątku, który próbuje założyć blokadę.
- Nie można określić maksymalnego czasu próby dostępu do blokady.
- Sytuacja, w której na jedną blokadę przypada jeden warunek, może nie być najlepsza pod kątem wydajności.

Czego najlepiej używać — obiektów `Lock` i `Condition` czy metod synchronizowanych? Oto nasze zalecenia w tej kwestii:

- Najlepiej nie używać interfejsów `Lock` i `Condition` ani słowa kluczowego `synchronized`. W wielu sytuacjach można poradzić sobie przy użyciu jednego z mechanizmów z pakietu `java.util.concurrent`, które zajmują się działaniami związanymi z blokowaniem. Na przykład w punkcie 12.5.1, „Kolejki blokujące”, opisujemy sposób synchronizacji wątków pracujących nad wspólnym zadaniem za pomocą blokowania kolejek. Dobrze jest też przeczytać o strumieniach równoległych, o których piszemy w rozdziale 1. drugiego tomu.

- Jeśli słowo kluczowe `synchronized` sprawdza się w określonej sytuacji, należy go użyć. Technika ta pozwala na zmniejszenie liczby wierszy kodu i pozostawia mniej okazji do popełnienia błędu. Listing 12.5 przedstawia program symulujący bank zaimplementowany przy użyciu metod zsynchronizowanych.
- Interfejsów `Lock` i `Condition` należy używać, gdy nie można się obyć bez dodatkowych funkcji, które one udostępniają.

Listing 12.5. `synch2/Bank.java`

```

package synch2;

/**
 * Bank z kilkoma kontami, wykorzystujący synchronizację
 */
public class Bank
{
    private final double[] accounts;

    /**
     * Tworzy bank.
     * @param n liczba kont
     * @param initialBalance saldo początkowe na każdym koncie
     */

    public Bank(int n, double initialBalance)
    {
        accounts = new double[n];
        Arrays.fill(accounts, initialBalance);
    }

    /**
     * Przelewa pieniądze pomiędzy kontami.
     * @param from konto, z którego ma nastąpić przelew
     * @param to konto, na które mają zostać przelane środki
     * @param amount kwota do przelania
     */

    public synchronized void transfer(int from, int to, double amount) throws
    ↪ InterruptedException
    {
        while (accounts[from] < amount)
            wait();
        System.out.print(Thread.currentThread());
        accounts[from] -= amount;
        System.out.printf(" %10.2f z %d na %d", amount, from, to);
        accounts[to] += amount;
        System.out.printf(" Saldo ogólne: %10.2f%n", getTotalBalance());
        notifyAll();
    }

    /**
     * Zwraca sumę sald wszystkich kont.
     * @return saldo ogólne
     */

    public synchronized double getTotalBalance()

```

```

{
    double sum = 0;

    for (double a : accounts)
        sum += a;

    return sum;
}

/**
 * Zwraca liczbę kont w banku.
 * @return liczba kont
 */

public int size()
{
    return accounts.length;
}
}

```

```
java.lang.Object 1.0
```

■ void notifyAll()

Odblokowuje wszystkie wątki, które wywołały metodę `wait` na rzecz obiektu. Metodę tę można wywoływać wyłącznie w synchronizowanej metodzie lub synchronizowanym bloku. Powoduje wyjątek `IllegalMonitorStateException`, jeśli aktualny wątek nie jest właścicielem blokady obiektu.

■ void notify()

Odblokowuje jeden losowo wybrany wątek spośród tych, które wywołały metodę `wait` na rzecz obiektu. Metodę tę można wywoływać wyłącznie w synchronizowanej metodzie lub synchronizowanym bloku. Powoduje wyjątek `IllegalMonitorStateException`, jeśli aktualny wątek nie jest właścicielem blokady obiektu.

■ void wait()

Przestawia wątek w stan oczekiwania, aż nadejdzie odpowiednie powiadomienie. Metodę tę można wywoływać wyłącznie w synchronizowanej metodzie lub synchronizowanym bloku. Powoduje wyjątek `IllegalMonitorStateException`, jeśli aktualny wątek nie jest właścicielem blokady obiektu.

■ void wait(long millis)

■ void wait(long millis, int nanos)

Przestawia wątek w stan oczekiwania, aż nadejdzie odpowiednie powiadomienie lub upłynie określona ilość czasu. Metodę tę można wywoływać wyłącznie w synchronizowanej metodzie lub synchronizowanym bloku. Powoduje wyjątek `IllegalMonitorStateException`, jeśli aktualny wątek nie jest właścicielem blokady obiektu. Liczba nanosekund nie może być większa niż 1 000 000.

12.4.6. Bloki synchronizowane

Jak już wiemy, każdy obiekt w Javie posiada blokadę. Wątek może ją przejąć za pomocą metody synchronizowanej. Istnieje jeszcze jeden sposób na pozyskiwanie blokad, który polega na wejściu do **bloku synchronizowanego**. Wątek, które wejdzie do bloku podobnego do tego poniżej, stanie się właścicielem blokady dla obiektu obj.

```
synchronized (obj)           // składnia bloku synchronizowanego
{
    sekcja krytyczna
}
```

Czasami można spotkać blokady tworzone ad hoc, na przykład:

```
public class Bank
{
    private double[] accounts;
    private var lock = new Object();
    . . .
    public void transfer(int from, int to, int amount)
    {
        synchronized (lock) // blokada utworzona ad hoc
        {
            accounts[from] -= amount;
            accounts[to] += amount;
        }
        System.out.println(. . .);
    }
}
```

W tym przypadku obiekt lock został utworzony tylko po to, aby można było użyć blokady, którą posiada każdy obiekt w Javie.

Czasami programiści wykorzystują blokady obiektów do implementacji dodatkowych niepodzielnych operacji. Technika ta nazywa się **blokowaniem po stronie klienta** (ang. *client-side locking*). Weźmy na przykład klasę Vector implementującą listy, których metody są synchronizowane. Wyobraźmy sobie, że salda kont w naszym banku zapisaliśmy w liście Vector<Double>. Oto naiwna implementacja metody transfer:

```
public void transfer(Vector<Double> accounts, int from, int to, int amount) // błąd
{
    accounts.set(from, accounts.get(from) - amount);
    accounts.set(to, accounts.get(to) + amount);
    System.out.println(. . .);
}
```

Mimo że metody get i set klasy Vector są synchronizowane, nic nam to nie daje. Istnieje możliwość, że wątek zostanie wywłaszczony w metodzie transfer po zakończeniu pierwszego wywołania metody get. Wtedy inny wątek może w tym samym miejscu zapisać całkiem inną wartość. Można jednak przejąć blokadę:

```
public void transfer(Vector<Double> accounts, int from, int to, int amount)
{
    synchronized (accounts)
    {
        accounts.set(from, accounts.get(from) - amount);
        accounts.set(to, accounts.get(to) + amount);
    }
}
```

```

    }
    System.out.println(. . .);
}

```

Technika ta zdaje egzamin, ale jest w pełni uzależniona od tego, że wszystkie metody modyfikujące w klasie `Vector` mają wewnętrzne blokady. Czy tak jest jednak naprawdę? W dokumentacji tej klasy nic takiego nie napisano. Trzeba bardzo uważnie przestudiować jej kod źródłowy i mieć nadzieję, że w przyszłości nie zostaną wprowadzone mutatory niesynchronizowane. Stanowi to dowód na to, że blokowanie po stronie klienta jest bardzo niepewną techniką, i dlatego ogólnie nie polecamy jej stosowania.



Maszyna wirtualna Javy ma wbudowane mechanizmy wsparcia dla metod synchronizowanych. Bloki synchronizowane są kompilowane na długie sekwencje kodu bajtowego pozwalające na zarządzanie blokadą wewnętrzną.

12.4.7. Monitor

Blokady i warunki stwarzają bardzo duże możliwości, jeśli chodzi o synchronizację wątków, ale są mało obiektowe. Badacze przez wiele lat poszukiwali sposobów na uczynienie wielowątkowości bezpieczną techniką, nie zmuszając jednocześnie programistów do zajmowania się jawnymi blokadami. Jednym z najlepszych rozwiązań w tej dziedzinie są **monitory**, opracowane w latach 70. ubiegłego wieku przez Pera Brincha Hansena i Tony'ego Hoare'a. W Javie monitor ma następujące własności:

- Monitorem jest klasa posiadająca same pola prywatne.
- Z każdym obiektem tej klasy związana jest blokada.
- Wszystkie metody są blokowane przez tę blokadę. Innymi słowy, jeśli klient wykona instrukcję `obj.method()`, to blokada obiektu `obj` zostanie automatycznie założona na początku wywołania metody i zwolniona w chwili zwrócenia przez tę metodę wartości. Ponieważ wszystkie pola są prywatne, mamy pewność, że podczas gdy jeden wątek wykonuje działania na nich, żaden inny wątek nie ma do nich dostępu.
- Z blokadą może być skojarzona dowolna liczba warunków.

Poprzednie wersje monitorów dysponowały tylko jednym warunkiem o dosyć eleganckiej składni. Można było użyć wywołania typu `await accounts[from] >= balance` bez stosowania jawnej zmiennej warunkowej. Badania wykazały jednak, że masowe powtarzanie testów warunków może być bardzo mało wydajne. Problem ten rozwiązują jawne zmienne warunkowe, z których każda zarządza osobnym zestawem wątków.

Projektanci Javy luźno potraktowali adaptację koncepcji monitorów. *Każdy obiekt* w Javie posiada wewnętrzną blokadę i wewnętrzny warunek. Jeśli w deklaracji metody znajduje się słowo kluczowe `synchronized`, działa ona jak metoda monitorowa. Dostęp do zmiennej warunkowej uzyskuje się za pośrednictwem metod `wait`, `notifyAll` i `notify`.

Pomiędzy zwykłym obiektem a monitorem są trzy istotne różnice mające wpływ na bezpieczeństwo wątków:

- Pola nie muszą być prywatne.

- Metody nie muszą być synchronizowane.
- Blokada wewnętrzna jest dostępna dla klientów.

Ten brak poszanowania dla zabezpieczeń rozwścieczył Pera Brincha Hansena. W zjadliwej recenzji na temat wielowątkowości w Javie napisał: „Zdumiewa fakt, że pozbawiony zabezpieczeń paralelizm w Javie jest poważnie traktowany przez programistów, zwłaszcza że od wynalezienia monitorów i powstania języka Concurrent Pascal upłynęło już pół wieku. To nie ma sensu” (*Java's Insecure Parallelism*, „ACM SIGPLAN Notices” 1999, nr 34, s. 38 – 45).

12.4.8. Pola ulotne

Czasami wydaje się, że obciążenie powodowane przez synchronizację jest zbyt duże, jeśli chcemy tylko odczytać lub zapisać jedno czy dwa pola. Co w takiej sytuacji może się nie udać? Niestety nowoczesne procesory i kompilatory stwarzają mnóstwo sytuacji, w których może zostać popełniony błąd.

- Komputery wieloprocesorowe mogą tymczasowo przechowywać wartości w rejestrach lub lokalnych pamięciach podręcznych. W wyniku tego wątki działające na różnych procesorach mogą w tej samej lokalizacji widzieć inne dane!
- Kompilatory mogą zmieniać kolejność instrukcji w celu zoptymalizowania programu. Kompilator nie zmienia kolejności w taki sposób, aby zmienić się sposób działania kodu, ale wyjdzie z założenia, że wartości w pamięci ulegają zmianom tylko w wyniku konkretnych instrukcji w kodzie. Jednak wartość może zostać zmodyfikowana przez inny wątek!

Problemy te nie występują po zastosowaniu blokad do ochrony kodu, do którego mogą mieć dostęp różne wątki. Kompilatory muszą respektować blokady poprzez opróżnianie w razie potrzeby lokalnych pamięci podręcznych i nieprzestawianie instrukcji w nieodpowiedni sposób. Szczegółowe informacje na ten temat można znaleźć w dokumencie *Java Memory Model and Thread Specification* opracowanym przez grupę JSR 133 (<http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=133>). Znaczna część tej specyfikacji jest bardzo skomplikowana i ma czysto techniczny charakter, ale jest kilka jaśniejszych fragmentów. Bardziej przystępny artykuł na ten temat napisany przez Briana Goetza znajduje się pod adresem <http://www.ibm.com/developerworks/library/j-jtp02244>.



Brian Goetz jest autorem „motta synchronizacyjnego”: jeśli zapisujesz zmienną, która może następnie zostać odczytana przez inny wątek, albo odczytujesz zmienną, która mogła zostać zapisana przez inny wątek, musisz skorzystać z synchronizacji.

Słowo kluczowe `volatile` (ulotny) umożliwia synchronizację dostępu do pól egzemplarza bez użycia blokad. Jeśli w deklaracji pola znajduje się to słowo kluczowe, kompilator i maszyna wirtualna wiedzą, że może ono być współbieżnie modyfikowane przez inny wątek.

Wyobraźmy sobie na przykład, że pewien obiekt ma znacznik logiczny `done`, który jest ustalany przez jeden wątek, a sprawdzany przez inny. Zgodnie z wcześniejszymi informacjami wiemy, że można w tej sytuacji użyć blokady:

```
private boolean done;

public synchronized boolean isDone() { return done; }
public synchronized void setDone() { done = true; }
```

Użycie wewnętrznej blokady wydaje się niezbyt dobrym pomysłem. Metody `isDone` i `setDone` mogą zostać zablokowane, jeśli inny wątek zablokuje obiekt. Jeśli istnieje taka obawa, można zastosować osobną blokadę tylko dla tej zmiennej. To jednak zaczyna robić się coraz bardziej kłopotliwe.

Rozsądnym wyjściem z tej sytuacji jest zadeklarowanie pola jako `volatile`:

```
private volatile boolean done;
public boolean isDone() { return done; }
public void setDone() { done = true; }
```

Kompilator wstawi odpowiedni kod pozwalający dopilnować, by zmiana w zmiennej `done` dokonana w jednym wątku była widzialna w innym wątku, który będzie ją odczytywał.



Zmienne ulotne nie zapewniają niepodzielności. Na przykład nie ma gwarancji, że poniższa metoda zmieni wartość pola na przeciwną.

```
public void flipDone() { done = !done; } //podzielna
```

Nie ma gwarancji, że coś nie zakłóci odczytu, zamiany i zapisu.

12.4.9. Zmienne finalne

Jak wiesz z poprzedniego podrozdziału, nie można bezpiecznie odczytać pola w wielu wątkach, jeśli nie użyje się blokad lub modyfikatora `volatile`.

Jest jeszcze jedna sytuacja, w której można bezpiecznie uzyskać dostęp do wspólnego pola — gdy pole to jest `finalne`:

```
final var accounts = new HashMap<String, Double>();
```

Inne wątki zobaczą zmienną `accounts`, gdy konstruktor zakończy działanie.

Bez modyfikatora `final` nie byłoby gwarancji, że wątki zobaczą zaktualizowaną wartość zmiennej `accounts` — mogłyby widzieć `null` zamiast utworzonej struktury `HashMap`.

Oczywiście działania na słowniku nie są bezpieczne wątkowo. Jeśli ma ją modyfikować i odczytywać kilka wątków, to nadal konieczna jest synchronizacja.

12.4.10. Zmienne atomowe

Wspólne zmienne można deklarować jako ulotne, pod warunkiem że jedyną wykonywaną operacją będzie przypisanie.

W pakiecie `java.util.concurrent.atomic` znajduje się kilka klas, które zapewniają atomowość innych operacji dzięki wykorzystaniu wydajnych instrukcji na poziomie maszynowym. Przykładowo klasa `AtomicInteger` zawiera metody `incrementAndGet` i `decrementAndGet`, które

automatycznie inkrementują i dekrementują liczby całkowite. Można na przykład bezpiecznie wygenerować szereg liczb w następujący sposób:

```
public static AtomicLong nextNumber = new AtomicLong();
// w jakimś wątku
long id = nextNumber.incrementAndGet();
```

Metoda `incrementAndGet` atomowo zwiększa wartość `AtomicLong` i zwraca tę zwiększoną wartość. Oznacza to, że nie można przeszkodzić w operacji pobrania wartości, zwiększenia jej o jeden, zapisania jej w pamięci i utworzenia nowej wartości. Mamy gwarancję, że zostanie obliczona i zwrócona poprawna wartość, nawet jeżeli obiektu będzie używać wiele wątków naraz.

Istnieją metody służące do atomowego ustawiania, dodawania i odejmowania wartości, ale jeśli trzeba wykonać jakąś bardziej skomplikowaną operację, należy się posłużyć metodą `compareAndSet`. Powiedzmy na przykład, że chcemy rejestrować największą wartość zaobserwowaną przez różne wątki. Poniższe rozwiązanie nie jest właściwe:

```
public static AtomicLong largest = new AtomicLong();
// w jakimś wątku...
largest.set(Math.max(largest.get(), observed)); // Błąd — wysięg!
```

Ta operacja nie jest niepodzielna. W zamian wartość zmiennej można zmieniać za pomocą wyrażenia lambda. W przedstawionym przykładzie moglibyśmy zastosować następujące wywołanie:

```
largest.updateAndGet(x -> Math.max(x, observed));
```

lub

```
largest.accumulateAndGet(observed, Math::max);
```

Metoda `accumulateAndGet` pobiera operator binarny, za pomocą którego dokonuje kombinacji wartości atomowej z przekazanym argumentem.

Dostępne są też metody `getAndUpdate` i `getAndAccumulate`, które zwracają starą wartość.



Definicje tych metod znajdują się też w klasach `AtomicInteger`, `AtomicIntegerArray`, `AtomicIntegerFieldUpdater`, `AtomicIntegerFieldUpdaterArray`, `AtomicIntegerFieldUpdaterReference`, `AtomicIntegerFieldUpdaterReferenceArray` oraz `AtomicIntegerFieldUpdaterReferenceArray`.

Jeśli wartości atomowe są wykorzystywane przez dużą liczbę wątków, obniża się wydajność programu, ponieważ optymistyczne aktualizacje wymagają zbyt wielu prób. Problem ten rozwiązują klasy `LongAdder` i `LongAccumulator`. Klasa `LongAdder` składa się z kilku zmiennych, których suma wynosi tyle, ile bieżąca wartość. Wątki mogą zmieniać różne składniki dodawania i wraz z pojawianiem się nowych wątków automatycznie dodawane są kolejne składniki. Jest to wydajne rozwiązanie w typowym przypadku, gdy wartość sumy jest potrzebna dopiero po zakończeniu pracy. Zwiększenie wydajności często jest wyraźnie zauważalne.

Jeśli przewidywana jest ostra rywalizacja, należy się posługiwać klasą `LongAdder` zamiast `AtomicLong`. Nazwy metod w nich nieco się różnią. Metoda `increment` zwiększa licznik, `add` dodaje liczbę, a `sum` zwraca sumę.


```

var LongAdder adder = new LongAdder();
for ( . . . )
    pool.submit(() -> {
        while ( . . . ) {
            . . .
            if ( . . . ) adder.increment();
        }
    });
. . .
long total = adder.sum();

```



Metoda `increment` oczywiście *nie* zwraca starej wartości. Gdyby tak robiła, niweczyłaby korzyści z dzielenia sumy na wiele składników.

Klasa `LongAccumulator` pozwala zastosować tę technikę do dowolnej operacji akumulacyjnej. W konstruktorze należy przekazać operację oraz jej neutralny element. Nowe wartości dodaje się za pomocą metody `accumulate`, a przy użyciu metody `get` można sprawdzić bieżącą wartość. Wynik działania poniższego kodu jest taki sam jak z użyciem klasy `LongAdder`:

```

var adder = new LongAccumulator(Long::sum, 0);
// w jakimś wątku...
adder.accumulate(value);

```

Wewnątrz akumulatora znajdują się zmienne a_1, a_2, \dots, a_n . Każda z nich jest zainicjalizowana elementem neutralnym (w naszym przykładzie jest to 0).

Gdy zostanie wywołana metoda `accumulate` z wartością v , to jedna z tych zmiennych zostanie atomowo zaktualizowana w ramach operacji $a_i = a_i \text{ op } v$, gdzie *op* to operacja akumulacji zapisana w formie infiksowej. W naszym przykładzie wywołanie metody `accumulate` powoduje wykonanie obliczeń $a_i = a_i + v$ dla pewnego i .

Wynikiem operacji `get` jest $a_1 \text{ op } a_2 \text{ op } \dots \text{ op } a_n$. W naszym przykładzie jest to suma akumulatorów: $a_1 + a_2 + \dots + a_n$.

Stosując inną operację, można obliczyć największą lub najmniejszą wartość. Generalnie operacja musi być łączna i przemienne. Oznacza to, że ostateczny wynik nie może zależeć od kolejności pobierania wartości pośrednich.

Istnieją też klasy `DoubleAdder` i `DoubleAccumulator`, które działają w taki sam sposób, tylko na wartościach typu `double`.

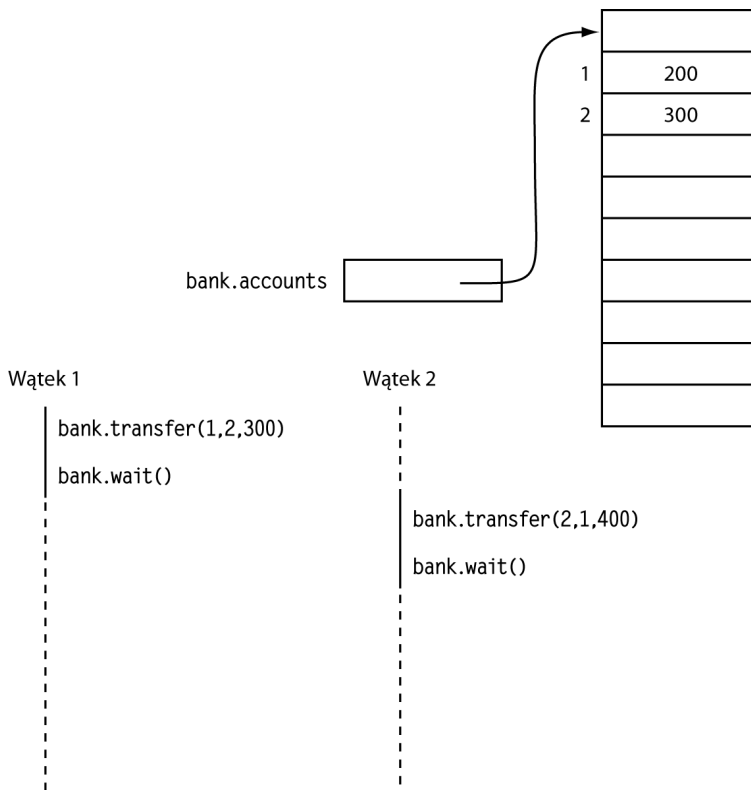
12.4.11. Zakleszczenia

Blokady i warunki nie wystarczą do rozwiązania wszystkich problemów związanych z wielowątkowością. Rozważmy następującą sytuację:

1. Konto 1: 200 dol.
2. Konto 2: 300 dol.
3. Wątek 1: przelew 300 dol. z konta 1 na konto 2
4. Wątek 2: przelew 400 dol. z konta 2 na konto 1

Jak widać na rysunku 12.4, wątki 1 i 2 są zablokowane. Żaden z nich nie może kontynuować działania, ponieważ salda na obu kontach są zbyt niskie.

Rysunek 12.4.
Zakleszczenie



Sytuacja, w której wszystkie wątki są zablokowane, w tym przypadku (ponieważ każdy czeka na więcej pieniędzy) nazywa się **zakleszczeniem** (ang. *deadlock*).

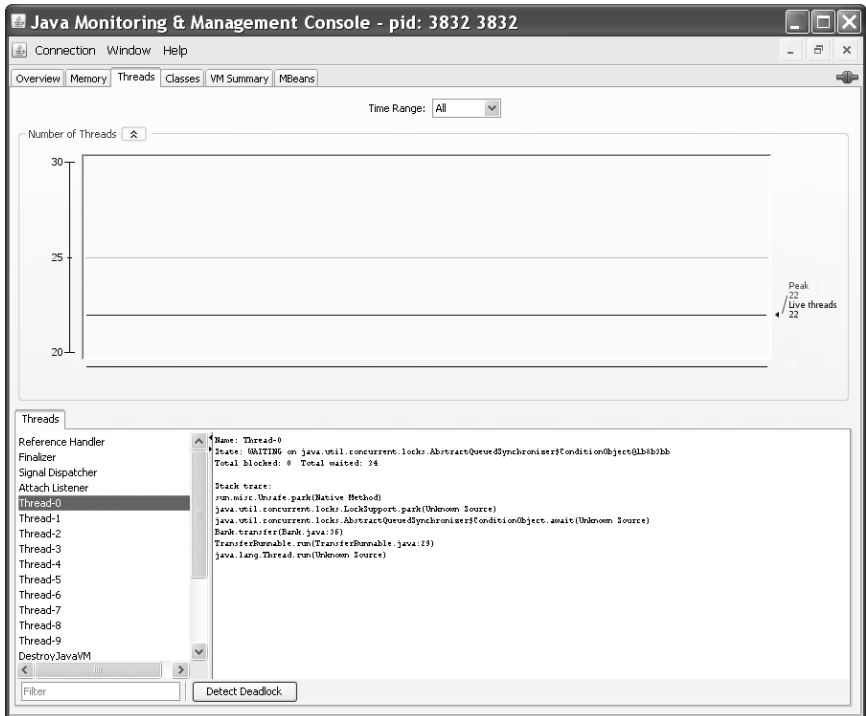
W naszym programie zakleszczenie nie może wystąpić z prostego powodu. Kwota przelewu nie może przekraczać 1000 dolarów. Ponieważ jest sto kont, na których w sumie znajduje się 100 000 dolarów, przynajmniej jedno z nich zawsze musi zawierać więcej niż 1000 dolarów. Dzięki temu wątek przelewający pieniądze z tego konta może kontynuować działanie.

Jeśli jednak z metody `run` usuniemy ograniczenie wysokości transakcji do 1000 dolarów, zakleszczenia mogą nastąpić bardzo szybko. Można to sprawdzić. Ustaw wartość stałej `NACCOUNTS` na 10, a parametr `max` konstruktora klasy `TransferRunnable` na $2 * \text{INITIAL_BALANCE}$ i uruchom program. Podziała on przez jakiś czas i zawiesi się.



Kiedy program zawiesi się, naciśnij kombinację klawiszy `Ctrl+\`, aby otrzymać listę wszystkich wątków. Każdemu wątkowi towarzyszy informacja ze stosu, dzięki czemu wiadomo, w którym miejscu jest on aktualnie zablokowany. Można też użyć narzędzia `jconsole`, które zostało opisane w rozdziale 7., i sprawdzić dane na karcie `Threads` (rysunek 12.5).

Rysunek 12.5.
Karta Threads
w jconsole



Innym sposobem na spowodowanie zakleszczenia jest uczynienie *i*-tego wątku odpowiedzialnym za umieszczenie pieniędzy na *i*-tym koncie zamiast za pobranie ich z *i*-tego konta. Istnieje wtedy szansa, że wszystkie wątki zbiegną się nad jednym kontem i będą próbować usunąć z niego więcej pieniędzy, niż się na nim znajduje. Aby to wypróbować, należy w programie `SynchBankTest` znaleźć metodę `run` w klasie `TransferRunnable`. W wywołaniu metody `transfer` zamień miejscami parametry `fromAccount` i `toAccount`. Uruchom program i przekonaj się, że prawie natychmiast nastąpi zakleszczenie.

Oto jeszcze jedna sytuacja, w której może łatwo dojść do zakleszczenia: w programie `SynchBankTest` zamień metodę `signalAll` na `signal`. Po pewnym czasie program w końcu zawiesza się (tym razem także ustaw wartość `NACCOUNTS` na 10, aby efekt był szybciej zauważalny). W przeciwieństwie do metody `signalAll`, która wysłała powiadomienie do wszystkich wątków oczekujących na zwiększenie funduszy, metoda `signal` odblokowuje tylko jeden wątek. Jeśli wątek ten nie może kontynuować, wszystkie wątki mogą zostać zablokowane. Przeanalizujmy scenariusz prezentujący, jak może dojść do zakleszczenia.

1. Konto 1: 1990 dol.
2. Pozostałe konta: po 990 dol.
3. Wątek 1: przelew 995 dol. z konta 1 na konto 2
4. Pozostałe wątki: przelew 995 dol. ze swoich kont na inne konto

Bez wątpienia wszystkie wątki poza pierwszym są zablokowane, ponieważ na ich kontach nie ma wystarczająco dużo pieniędzy.

Wątek 1 kontynuuje działanie. Dochodzimy do następującej sytuacji:

1. Konto 1: 995 dol.
2. Konto 2: 1985 dol.
3. Pozostałe konta: po 990 dol.

Wtedy wątek 1 wywołuje metodę `signal`, która odblokowuje jeden losowo wybrany wątek. Załóżmy, że padło na wątek 3. Zostaje on obudzony, stwierdza, że na jego koncie nie ma wystarczająco dużo środków, i ponownie wywołuje metodę `wait`. Jednak wątek 1 cały czas działa. Generuje nową losową transakcję, na przykład taką jak poniżej:

1. Wątek 1: przelew 997 dol. z konta 1 na konto 2

Tym razem także wątek 1 wywołuje metodę `wait` i *wszystkie* wątki są zablokowane. System ulega zakleszczeniu.

Źródłem problemów jest tutaj metoda `signal` odblokowująca tylko jeden wątek, który może nie mieć znaczenia dla utrzymania postępu programu (w naszym scenariuszu wątek 2 musi kontynuować pracę, aby pobrać pieniądze z drugiego konta).

Niestety język Java nie udostępnia żadnego mechanizmu pozwalającego uniknąć takich zakleszczeń lub je przerwać. Program musi być tak zaprojektowany, aby sytuacje tego typu nie miały szans się wydarzyć.

12.4.12. Zmienne lokalne wątków

W poprzednich podrozdziałach zostały opisane problemy, jakie można napotkać, używając w wątkach wspólnych zmiennych. Czasami można uniknąć współdzielenia, każdemu wątkowi dając egzemplarz na własność. Używa się do tego celu klasy pomocniczej `ThreadLocal`. Przykładowo klasa `SimpleDateFormat` nie jest bezpieczna wątkowo. Przypuśćmy, że mamy stayczną zmienną:

```
public static final SimpleDateFormat dateFormat = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
```

Jeśli dwa wątki wykonają taką operację jak poniższa:

```
String dateStamp = dateFormat.format(new Date());
```

to wynik może być niepoprawny, ponieważ wewnętrzne struktury danych używane przez `dateFormat` mogą zostać uszkodzone przez współbieżny dostęp. Jako rozwiązanie można zastosować synchronizację, która jest kosztowna, albo stworzyć lokalny obiekt `SimpleDateFormat` za każdym razem, gdy jest potrzebny. To jednak również oznacza marnotrawstwo zasobów.

Aby utworzyć po jednym egzemplarzu na wątek, należy użyć poniższego kodu:

```
public static final ThreadLocal<SimpleDateFormat> dateFormat =
    ThreadLocal.withInitial(() -> new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd"));
```

Aby uzyskać dostęp do formatera, należy zastosować poniższe wywołanie:

```
String dateStamp = dateFormat.get().format(new Date());
```

Przy pierwszym wywołaniu metody `get` w wątku następuje wywołanie metody `initialValue`. Od tej pory metoda `get` zwraca egzemplarz należący do bieżącego wątku.

Podobny problem przedstawia generowanie liczb losowych w wielu wątkach. Klasa `java.util.Random` jest bezpieczna wątkowo, ale mimo to nie działa wydajnie, gdy wiele wątków musi czekać na jeden wspólny generator.

Można by było użyć klasy pomocniczej `ThreadLocal`, aby każdemu wątkowi dać osobny generator, ale w Java SE 7 udostępniono specjalną klasę, dzięki której praca ta jest wygodniejsza. Wystarczy wykonać poniższe wywołanie:

```
int random = ThreadLocalRandom.current().nextInt(upperBound);
```

Metoda `ThreadLocalRandom.current()` zwraca egzemplarz klasy `Random` dostępny tylko dla bieżącego wątku.

`java.lang.ThreadLocal<T>` **1.2**

- `T get()`
Pobiera bieżącą wartość wątku. Jeśli metoda `get` jest wywoływana po raz pierwszy, wartość otrzymywana jest poprzez wywołanie metody `initialize`.
- `void set(T t)`
Ustawia nową wartość wątku.
- `void remove()`
Usuwa wartość wątku.
- `static <S> ThreadLocal<S> withInitial(Supplier<? extends S> supplier)` **8**
Tworzy zmienną lokalną w wątku, której wartość początkowa jest utworzona przez wywołanego dostawcę.

`java.util.concurrent.ThreadLocalRandom` **7**

- `static ThreadLocalRandom current()`
Zwraca egzemplarz klasy `Random` należący do bieżącego wątku.

12.4.13. Dlaczego metody `stop` i `suspend` są wycofywane

Początkowo w Javie dostępna była metoda `stop`, która kończyła wątek, i metoda `suspend`, która blokowała wątek do czasu, gdy inny wątek wywołał metodę `resume`. Dwie pierwsze z wymienionych metod coś łączy: obie próbują kontrolować działanie wątku, nie współpracując z nim.

Obie te metody są wycofywane. Metoda `stop` jest z gruntu niebezpieczna, a jeśli chodzi o `suspend`, to z doświadczenia wiadomo, że często prowadzi do zakleszczeń. W tym podrozdziale wyjaśniamy, dlaczego metody te sprawiają problemy i co można zrobić, aby ich uniknąć.

Zacniemy od metody `stop`. Zamyka ona wszystkie oczekujące metody, włącznie z metodą `run`. Jeśli zostanie zastosowana na rzecz wątku, natychmiast zdejmuje on wszystkie blokady, które założył. To może prowadzić do uszkodzenia obiektów. Wyobraźmy sobie na przykład, że wątek `TransferRunnable` został zatrzymany w trakcie przelewania pieniędzy z jednego konta na inne — zdążył pobrać pieniądze, ale nie zdążył ich zapisać na drugim koncie. W tej sytuacji obiekt banku zostaje *zniszczony*. Ponieważ blokada została zdjęta, zniszczenie jest widoczne także dla innych wątków, które jeszcze nie zostały zatrzymane.

Wątek chcący zatrzymać inny wątek nie ma sposobu na sprawdzenie, kiedy wywołanie metody `stop` jest bezpieczne, a kiedy doprowadzi do zniszczenia obiektu. Dlatego odradza się używania tej metody. Aby zatrzymać wątek, należy go przerwać. Przerwany wątek może się zatrzymać wtedy, gdy jest to bezpieczne.



Niektórzy twierdzą, że metoda `stop` jest odradzana, ponieważ poprzez zatrzymanie wątków może blokować obiekty na stałe. To jednak nieprawda. Zatrzymany wątek wychodzi z wszystkich metod synchronizowanych, które wywołał, zgłaszając wyjątek `ThreadDeath`. W rezultacie zwalniane są wszystkie wewnętrzne blokady obiektów, które wątek ten założył.

Kolej na metodę `suspend`. W przeciwieństwie do metody `stop` nie powoduje ona uszkodzenia obiektów. Jeśli jednak zawieszony zostanie wątek posiadający blokadę będzie ona niedostępna aż do odwieszenia tego wątku. Jeśli wątek, który wywołał tę metodę `suspend`, próbuje założyć tę samą blokadę, program zostaje zakleszczony — zawieszony wątek czeka na odwieszenie, a wątek, który go zawiesił, czeka na blokadę.

Sytuacje tego typu często zdarzają się w graficznych interfejsach użytkownika. Załóżmy, że mamy graficzną symulację naszego banku. Przycisk z etykietą *Wstrzymaj* zawiesza wątki dokonujące przelewów, a przycisk z etykietą *Wznów* odwiesza je.

```
pauseButton.addActionListener(event -> {
    for (int i = 0; i < threads.length; i++)
        threads[i].suspend(); //nie rób tego
});
resumeButton.addActionListener(event -> {
    for (int i = 0; i < threads.length; i++)
        threads[i].resume();
});
```

Metoda `paintComponent` będzie rysować wykres każdego konta. W tym celu utworzy tablicę sald kont za pomocą metody `getBalances`.

Jak przekonasz się w punkcie 12.7.3, zarówno akcje przycisków, jak i ponowne rysowanie odbywają się w tym samym wątku — **wątku dystrybucji zdarzeń** (ang. *event dispatch thread*). Przeanalizujemy następujący scenariusz:

1. Jeden z wątków przelewowych zakłada blokadę obiektu `bank`.
2. Użytkownik klika przycisk *Wstrzymaj*.
3. Wszystkie wątki przelewowe zostają zawieszane. Jeden z nich cały czas trzyma blokadę na obiekcie `bank`.

4. Z jakiegoś powodu konieczne jest ponowne narysowanie wykresu konta.
5. Metoda `paintComponent` wywołuje metodę `getBalances`.
6. Metoda ta próbuje założyć blokadę obiektu `bank`.

Program zostaje zamrożony.

Wątek dystrybucji zdarzeń nie może kontynuować, ponieważ blokada znajduje się w posiadaniu jednego z zawieszonych wątków. Dlatego użytkownik nie może kliknąć przycisku *Wznów* i wątki nigdy nie zostaną odwieszono.

Aby bezpiecznie zawieszać wątki, należy utworzyć zmienną `suspendRequested` i testować ją w bezpiecznym miejscu metody `run` — w takim miejscu, w którym wątek nie blokuje obiektów potrzebnych innym wątkom. Kiedy wątek odkryje, że zmienna `suspendRequested` została ustawiona, powinien czekać, aż będzie ona ponownie dostępna.

12.5. Kolekcje bezpieczne wątkowo

Jeśli kilka wątków równocześnie modyfikuje strukturę danych, na przykład tablicę skrótów, łatwo może dojść do jej zniszczenia (więcej informacji o tablicach skrótów znajduje się w rozdziale 9.). Jeden wątek może na przykład rozpocząć dodawanie elementu, ale w trakcie aktualizacji łączy między kontenerami tablicy może dojść do jego wywłaszczenia. Jeśli teraz następny wątek zacznie przeglądać tę listę, może użyć nieprawidłowych połączeń i narobić bałaganu, co może skończyć się zgłoszeniem wyjątku albo wpadnięciem w nieskończoną pętlę.

Wspólną strukturę danych można chronić za pomocą blokady, choć zwykle łatwiej jest skorzystać z implementacji bezpiecznej wątkowo. Poniżej opisujemy inne bezpieczne wątkowo kolekcje dostępne w bibliotece Javy.

12.5.1. Kolejki blokujące

Wiele problemów z wątkami można zgrabnie i bezpiecznie sformułować za pomocą jednej lub większej liczby kolejek. Wątki producenta umieszczają elementy w kolejce, a wątki konsumenta pobierają je stamtąd. Kolejka umożliwia bezpieczną wymianę danych pomiędzy wątkami. Weźmy na przykład nasz program symulujący bank. Wątki przelewające — zamiast bezpośrednio operować na obiekcie banku — wstawiają obiekty instrukcji przelewu do kolejki. Inny wątek usuwa te instrukcje i wykonuje przelewy. Tylko ten wątek ma dostęp do wnętrza obiektu banku. Nie jest potrzebna synchronizacja (oczywiście projektanci klas kolejek bezpiecznych dla wątków musieli zająć się blokadami i warunkami, ale to był ich problem, a nie nasz).

Kolejka blokująca (ang. *blocking queue*) powoduje zablokowanie wątku podczas próby dodania elementu, jeśli jest pełna, lub podczas próby usunięcia elementu, jeśli jest pusta. Kolejki tego typu znajdują zastosowanie w koordynacji działań wielu wątków. Niektóre wątki robocze mogą co jakiś czas odkładać pośrednie wyniki w kolejce blokującej, a pozostałe mogą je stamtąd usuwać i poddawać dalszej obróbce. Kolejka automatycznie kontroluje

przebieg pracy. Jeśli jeden zestaw wątków działa wolniej niż drugi, ten drugi musi poczekać na wyniki pierwszego. Jeśli pierwszy zestaw działa szybciej od drugiego, kolejka zapelnia się, dopóki drugi zestaw wątków nadąży z odbieraniem. Tabela 12.1 zawiera zestawienie metod blokujących kolejek.

Tabela 12.1. Metody kolejek blokujących

Metoda	Normalne działanie	Działanie w specjalnych warunkach
add	Dodaje element.	Zgłasza wyjątek <code>IllegalStateException</code> , jeśli kolejka jest pełna.
element	Zwraca element z czoła.	Zgłasza wyjątek <code>NoSuchElementException</code> , jeśli kolejka jest pusta.
offer	Dodaje element i zwraca wartość <code>true</code> .	Zwraca wartość <code>false</code> , jeśli kolejka jest pełna.
peek	Zwraca element z czoła.	Zwraca wartość <code>null</code> , jeśli kolejka jest pusta.
poll	Usuwa i zwraca element z czoła.	Zwraca wartość <code>null</code> , jeśli kolejka jest pusta.
put	Dodaje element.	Blokuje, jeśli kolejka jest pełna.
remove	Usuwa i zwraca element z czoła.	Zgłasza wyjątek <code>NoSuchElementException</code> , jeśli kolejka jest pusta.
take	Usuwa i zwraca element z czoła.	Blokuje, jeśli kolejka jest pusta.

Metody kolejek blokujących można podzielić na trzy kategorie w zależności od działania, kiedy kolejka jest pełna lub pusta. Jeśli kolejka jest wykorzystywana jako narzędzie do zarządzania wątkami, należy używać metod `put` i `take`. Metody `add`, `remove` i `element` zgłaszają wyjątek, kiedy element jest dodawany do pełnej kolejki lub pobierany z pustej. Oczywiście w programie wielowątkowym kolejka może się zapelnąć i zrobić pusta w każdej chwili. Dlatego w takich sytuacjach należy używać metod `offer`, `poll` i `peek`. Metody te nie zgłaszają wyjątku, tylko zwracają wartość oznaczającą niepowodzenie operacji, jeśli zakończą się niepowodzeniem.



Metody `poll` i `peek` informują o niepowodzeniu za pomocą wartości zwrótej `null`. Dlatego do tego typu kolejek nie można wstawiać referencji `null`.

Istnieją także wersje czasowe metod `offer` i `poll`. Na przykład poniższa instrukcja:

```
boolean success = q.offer(x, 100, TimeUnit.MILLISECONDS);
```

przez sto milisekund próbuje wstawić element do ogona kolejki. Jeśli się jej powiedzie, zwróci wartość `true`, w przeciwnym przypadku, jeśli nie wykona operacji w wyznaczonym czasie, zwróci `false`. Podobnie instrukcja:

```
Object head = q.poll(100, TimeUnit.MILLISECONDS)
```

przez sto milisekund próbuje usunąć element z czoła kolejki. Jeśli się jej powiedzie, zwróci ten element, w przeciwnym przypadku, jeśli nie wykona operacji w wyznaczonym czasie, zwróci `false`.

Metoda `put` włącza blokadę, jeśli kolejka jest pełna, a metoda `take` robi to samo, gdy kolejka jest pusta. Metody te są odpowiednikami metod `offer` i `poll` bez ograniczenia czasowego.

W pakiecie `java.util.concurrent` znajduje się kilka wersji kolejek blokujących. Kolejka `LinkedBlockingQueue` nie posiada domyślnej górnej granicy pojemności, ale można ją określić. Jej dwustronna wersja to `LinkedBlockingDeque`. Kolejka `ArrayBlockingQueue` ma określoną pojemność i opcjonalny parametr włączający wymóg uczciwości. Jeśli kolejka jest uczciwa, preferencyjnie traktowane są te wątki, które czekają najdłużej. Należy jednak pamiętać, że uczciwość zawsze powoduje straty szybkości, przez co opcję tę powinno się stosować wyłącznie wtedy, gdy jest to całkowicie niezbędne.

Kolejka `PriorityBlockingQueue` jest kolejką priorytetową, nie typu „pierwszy wszedł, pierwszy wyszedł”. Elementy są usuwane zgodnie z ich priorytetami. Kolejka ta ma nieograniczoną pojemność, ale pobieranie elementów z pustej konstrukcji powoduje blokadę (więcej informacji na temat kolejek priorytetowych znajduje się w rozdziale 9.).

W końcu kolejka `DelayQueue` przechowuje obiekty, które implementują interfejs `Delayed`:

```
interface Delayed extends Comparable<Delayed>
{
    long getDelay(TimeUnit unit);
}
```

Metoda `getDelay` zwraca ilość pozostałego czasu opóźnienia obiektu. Wartość ujemna oznacza, że czas ten upłynął. Elementy z tej kolejki mogą zostać usunięte dopiero wtedy, gdy upłynie określony czas opóźnienia. Konieczna jest także implementacja metody `compareTo`. Kolejka `DelayQueue` używa tej metody do sortowania elementów.

W Java SE 7 dodano interfejs `TransferQueue` pozwalający wątkowi producenta poczekać, aż konsument będzie gotowy do przyjęcia elementu. Gdy producent wywołuje poniższą metodę:

```
q.transfer(item);
```

wywołanie to zostaje zablokowane do czasu, aż blokadę usunie inny wątek. Opisany interfejs jest zaimplementowany w klasie `LinkedTransferQueue`.

Program przedstawiony na listingu 12.6 demonstruje sposób kontroli zestawu wątków za pomocą kolejki blokującej. Przeszukuje on wszystkie pliki znajdujące się w katalogu i jego podkatalogach oraz drukuje linijki, które zawierają dane słowo kluczowe.

Listing 12.6. `blockingQueue/BlockingQueueTest.java`

```
package blockingQueue;

import java.io.*;
import java.nio.charset.*;
import java.nio.file.*;
import java.util.*;
import java.util.concurrent.*;
import java.util.stream.*;

/**
 * @version 1.03 2018-03-17
 * @author Cay Horstmann
 */
public class BlockingQueueTest
{
    private static final int FILE_QUEUE_SIZE = 10;
```

```

private static final int SEARCH_THREADS = 100;
private static final Path DUMMY = Path.of("");
private static BlockingQueue<Path> queue = new Array
↳BlockingQueue<>(FILE_QUEUE_SIZE);

public static void main(String[] args)
{
    try (var in = new Scanner(System.in))
    {
        System.out.print("Enter base directory (e.g. /opt/jdk-9-src): ");
        String directory = in.nextLine();
        System.out.print("Wpisz słowo kluczowe (np. volatile): ");
        String keyword = in.nextLine();

        Runnable enumerator = () -> {
            try
            {
                enumerate(Path.of(directory));
                queue.put(DUMMY);
            }
            catch (IOException e)
            {
                e.printStackTrace();
            }
            catch (InterruptedException e)
            {
            }
        };

        new Thread(enumerator).start();
        for (int i = 1; i <= SEARCH_THREADS; i++) {
            Runnable searcher = () -> {
                try
                {
                    var done = false;
                    while (!done)
                    {
                        Path file = queue.take();
                        if (file == DUMMY)
                        {
                            queue.put(file);
                            done = true;
                        }
                        else search(file, keyword);
                    }
                }
                catch (IOException e)
                {
                    e.printStackTrace();
                }
                catch (InterruptedException e)
                {
                }
            };
            new Thread(searcher).start();
        }
    }
}

```

```

    }

    /**
     * Rekurencyjnie przegląda wszystkie pliki w danym katalogu i jego podkatalogach.
     * Opis operacji na strumieniach i plikach znajduje się w rozdziałach 1. i 2. tomu II.
     * @param directory katalog początkowy
     */
    public static void enumerate(Path directory) throws IOException,
↳ InterruptedException
    {
        try (Stream<Path> children = Files.list(directory))
        {
            for (Path child : children.collect(Collectors.toList()))
            {
                if (Files.isDirectory(child))
                    enumerate(child);
                else
                    queue.put(child);
            }
        }
    }

    /**
     * Szuka słowa kluczowego w pliku i drukuje wszystkie zawierające je wiersze tekstu.
     * @param file plik do przeszukania
     * @param keyword słowo do znalezienia
     */
    public static void search(Path file, String keyword) throws IOException
    {
        try (var in = new Scanner(file, StandardCharsets.UTF_8))
        {
            int lineNumber = 0;
            while (in.hasNextLine())
            {
                lineNumber++;
                String line = in.nextLine();
                if (line.contains(keyword))
                    System.out.printf("%s:%d:%s%n", file, lineNumber, line);
            }
        }
    }
}

```

Wątek producenta (producent) tworzy wyliczenie wszystkich plików znalezionych we wszystkich podkatalogach i wstawia je do kolejki blokującej. Operacja ta jest bardzo szybka i gdyby nie ograniczenie pojemności, kolejka w szybkim tempie zapełniłaby się wszystkimi plikami znajdującymi się w systemie plików.

Uruchamiamy także dużą liczbę wątków przeszukujących. Każdy taki wątek pobiera plik z kolejki, otwiera go, drukuje wszystkie linijki zawierające dane słowo kluczowe i pobiera następny plik. Do zakończenia aplikacji, kiedy dalsza jej praca jest już zbędna, wykorzystaliśmy pewną sztuczkę. Wątek wyliczeniowy sygnalizuje ukończenie pracy, umieszczając w kolejce atrapę obiektu (przypomina to umieszczanie walizki z etykietą „Ostatnia torba” na końcu taśmy z walizkami na lotnisku). Kiedy wątek przeszukujący pobierze taki obiekt, odkłada go z powrotem i kończy działanie.

Zwróć uwagę, że nie trzeba bezpośrednio stosować synchronizacji. W tej aplikacji do synchronizacji używamy kolejki.

`java.util.concurrent.ArrayBlockingQueue<E>` **5.0**

- `ArrayBlockingQueue(int capacity)`
- `ArrayBlockingQueue(int capacity, boolean fair)`

Tworzy kolejkę blokującą o określonej pojemności i z ustawioną zasadą uczciwości. Kolejka ta jest zaimplementowana jako tablica cykliczna.

`java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue<E>` **5.0**

`java.util.concurrent.LinkedBlockingDeque<E>` **6**

- `LinkedBlockingQueue()`
- `LinkedBlockingDeque()`

Tworzy nieograniczoną kolejkę blokującą jedno- lub dwustronną, zaimplementowaną jako lista powiązana.

- `LinkedBlockingQueue(int capacity)`
- `LinkedBlockingDeque(int capacity)`

Tworzy ograniczoną kolejkę jedno- lub dwustronną blokującą o określonej pojemności, zaimplementowaną jako lista powiązana.

`java.util.concurrent.DelayQueue<E extends Delayed>` **5.0**

- `DelayQueue()`

Tworzy nieograniczoną kolejkę elementów typu `Delayed`. Z kolejki tej można usuwać tylko te elementy, których czas opóźnienia upłynął.

`java.util.concurrent.Delayed` **5.0**

- `long getDelay(TimeUnit unit)`

Zwraca opóźnienie obiektu mierzone w określonej jednostce czasu.

`java.util.concurrent.PriorityBlockingQueue<E>` **5.0**

- `PriorityBlockingQueue()`
- `PriorityBlockingQueue(int initialCapacity)`
- `PriorityBlockingQueue(int initialCapacity, Comparator<? super E> comparator)`

Tworzy nieograniczoną priorytetową kolejkę blokującą zaimplementowaną jako sarta. Domyślna pojemność początkowa (`initialCapacity`) wynosi 11. Jeśli komparator nie zostanie podany, elementy muszą implementować interfejs `Comparable`.

```
java.util.concurrent.BlockingQueue<E> 5.0
```

- void put(E element)

Dodaje element i w razie konieczności włącza blokowanie.

- E take()

Usuwa i zwraca element z czoła, w razie konieczności włącza blokowanie.

- boolean offer(E element, long time, TimeUnit unit)

Dodaje określony element i zwraca wartość true, jeśli operacja zakończy się powodzeniem. W razie konieczności włącza blokowanie, aż element zostanie dodany lub upłynie określony czas.

- E poll(long time, TimeUnit unit)

Usuwa i zwraca element z czoła. W razie konieczności włącza blokowanie, aż element będzie dostępny lub upłynie określony czas. W razie niepowodzenia zwraca wartość null.

```
java.util.concurrent.BlockingDeque<E> 6
```

- void putFirst(E element)

- void putLast(E element)

Dodaje element i w razie potrzeby włącza blokadę.

- E takeFirst()

- E takeLast()

Usuwa i zwraca element z czoła lub ogona i w razie potrzeby włącza blokadę.

- boolean offerFirst(E element, long time, TimeUnit unit)

- boolean offerLast(E element, long time, TimeUnit unit)

Dodaje określony element i zwraca wartość true, jeśli operacja zakończy się powodzeniem. W razie potrzeby włącza blokadę, aż element zostanie dodany albo upłynie wyznaczony czas.

- E pollFirst(long time, TimeUnit unit)

- E pollLast(long time, TimeUnit unit)

Usuwa i zwraca element z czoła lub ogona. W razie potrzeby włącza blokadę, aż element będzie dostępny lub upłynie wyznaczony czas. W przypadku niepowodzenia zwraca wartość null.

```
java.util.concurrent.TransferQueue<E> 7
```

- void transfer(E element)

- boolean tryTransfer(E element, long time, TimeUnit unit)

Przesyła wartość albo próbuje ją przesłać w określonym czasie, zakładając blokadę do czasu, aż inny wątek usunie element. Druga metoda zwraca true w razie powodzenia.

12.5.2. Szybkie słowniki, zbiory i kolejki

W pakiecie `java.util.concurrent` znajdują się następujące szybkie implementacje słowników, zbiorów uporządkowanych i kolejek: `ConcurrentHashMap`, `ConcurrentSkipListMap`, `ConcurrentSkipListSet` oraz `ConcurrentLinkedQueue`.

W kolekcjach tych zastosowano zaawansowane algorytmy minimalizujące rywalizację wątków poprzez umożliwianie równoległego dostępu do różnych części struktury danych.

W przeciwieństwie do większości kolekcji, w tych metoda `size` niekoniecznie działa w stałym czasie. Określenie aktualnego rozmiaru tych kolekcji zazwyczaj wymaga ich przemierzenia.



W niektórych aplikacjach wykorzystywane są tak ogromne współbieżne słowniki skrótów, że metoda `size` sobie z nimi nie radzi, ponieważ zwraca wartości typu `int`. Co może zrobić ktoś, kto ma słownik zawierający ponad dwa miliardy elementów? Metoda `mappingCount` zwraca rozmiar w postaci liczby typu `long`.

Kolekcje te zwracają tak zwane **słabo spójne iteratory** (ang. *weakly consistent iterators*). Oznacza to, że mogą one (choć nie muszą) odzwierciedlać wszystkie modyfikacje dokonane po ich skonstruowaniu. Nie zwracają one jednak dwukrotnie wartości i nie zgłaszają wyjątku `ConcurrentModificationException`.



W przeciwieństwie do opisywanych iteratorów, iteratory kolekcji z pakietu `java.util` zgłaszają wyjątek `ConcurrentModificationException`, jeśli kolekcja zostanie zmodyfikowana po ich utworzeniu.

Struktura `ConcurrentHashMap` jest zdolna szybko obsłużyć dużą liczbę czytelników i ustaloną liczbę algorytmów zapisujących. Domyślnie założono, że może być do 16 algorytmów zapisujących *działających jednocześnie*. Może być ich więcej, ale jeśli więcej niż 16 z nich zapisuje w tym samym czasie, reszta pozostaje tymczasowo zablokowana. Można podać większą liczbę w konstruktorze, ale istnieje niewielkie prawdopodobieństwo, że będzie to potrzebne.



Słownik skrótów przechowuje wszystkie elementy o takiej samej wartości skrótu w jednym „kubku”. W niektórych aplikacjach wykorzystywane są niskiej jakości funkcje mieszające, w wyniku czego wszystkie elementy trafiają do niewielkiej liczby kubków, co radykalnie pogarsza wydajność programu. Nawet w miarę niezłe funkcje mieszające, np. używana w klasie `String`, mogą stwarzać problemy. Haker może na przykład spowolnić działanie programu przez spreparowanie dużej liczby łańcuchów o takiej samej wartości skrótu. W nowych wersjach Javy współbieżny słownik skrótów organizuje kubki jako drzewa, a nie listy, kiedy typ klucza implementuje interfejs `Comparable`, co zapewnia gwarantowaną wydajność $O(\log(n))$.

`java.util.concurrent.ConcurrentLinkedQueue<E>` **5.0**

■ `ConcurrentLinkedQueue<E>()`

Tworzy nieograniczoną kolejkę nieblokującą, którą można bezpiecznie przetwarzać w wielu wątkach.

```
java.util.concurrent.ConcurrentSkipListSet<E> 6
```

- `ConcurrentSkipListSet<E>()`
- `ConcurrentSkipListSet<E>(Comparator<? super E> comp)`

Tworzy zbiór uporządkowany, do którego można bezpiecznie uzyskać dostęp w wielu wątkach. Pierwszy z konstruktorów wymaga, aby elementy implementowały interfejs `Comparable`.

```
java.util.concurrent.ConcurrentHashMap<K, V> 5.0
```

```
java.util.concurrent.ConcurrentSkipListMap<K, V> 6
```

- `ConcurrentHashMap<K, V>()`
- `ConcurrentHashMap<K, V>(int initialCapacity)`
- `ConcurrentHashMap<K, V>(int initialCapacity, float loadFactor, int concurrencyLevel)`

Tworzy słownik skrótów, do którego można bezpiecznie uzyskać dostęp w wielu wątkach. Domyślna pojemność początkowa (`initialCapacity`) wynosi 16. Jeśli średnie zapełnienie komórki przekracza ten współczynnik zapełnienia, rozmiar tablicy jest zmieniany. Domyślna wartość to 0,75. Parametr `concurrencyLevel` określa przewidywaną liczbę współbieżnych wątków zapisujących.

- `ConcurrentSkipListMap<K, V>()`
- `ConcurrentSkipListSet<K, V>(Comparator<? super K> comp)`

Tworzy uporządkowany słownik, do którego można uzyskać bezpieczny dostęp w wielu wątkach. Pierwszy z konstruktorów wymaga, aby klucze implementowały interfejs `Comparable`.

12.5.3. Atomowe modyfikowanie elementów słowników

Oryginalna wersja słownika `ConcurrentHashMap` zawierała tylko kilka metod do atomowego wykonywania modyfikacji, przez co programiści musieli stosować różne nieeleganckie rozwiązania. Powiedzmy, że chcemy policzyć częstość występowania czegoś, np. kilka wątków napotyka różne słowa i chcemy się dowiedzieć, jak często każde z nich występuje.

Czy możemy wykorzystać strukturę `ConcurrentHashMap<String, Long>`? Spójrz na poniższy kod, w którym zwiększany jest licznik. Oczywiście nie jest to rozwiązanie bezpieczne pod kątem wątków:

```
Long oldValue = map.get(word);
Long newValue = oldValue == null ? 1 : oldValue + 1;
map.put(word, newValue); // Błąd — może nie zamienić oldValue.
```

W tym samym czasie inny wątek może zmieniać wartość tego samego licznika.



Niektórzy programiści dziwią się, że rzekomo bezpieczna pod kątem wątków struktura danych umożliwia wykonywanie operacji, które nie są bezpieczne wątkowo. Trzeba jednak pamiętać, że są różne punkty widzenia. Jeśli kilka wątków modyfikuje zwykły słownik `HashMap`, to mogą zniszczyć wewnętrzną strukturę (tablicę list powiązanych). Niektóre z łączy mogą się zagubić albo zapętlić, przez co struktura stanie się bezużyteczna. Takie coś nigdy nie zdarzy się w przypadku słownika `ConcurrentHashMap`. W powyższym przykładzie metody `get` i `put` na pewno nie uszkodzą samej struktury danych. Jednak sekwencja wykonywanych operacji nie jest niepodzielna, więc wynik jest nieprzewidywalny.

W starszych wersjach Javy stosowano sztuczkę z użyciem metody `replace`, która atomowo zamieniała starą wartość na nową, pod warunkiem że żaden inny wątek nie zrobił tego wcześniej. Próby należało powtarzać, aż się uda:

```
do
{
    oldValue = map.get(word);
    newValue = oldValue == null ? 1 : oldValue + 1;
} while (!map.replace(word, oldValue, newValue));
```

Eventualnie można użyć słownika `ConcurrentHashMap<String, AtomicLong>`. Wówczas należałoby napisać taką procedurę:

```
map.putIfAbsent(word, new AtomicLong());
map.get(word).incrementAndGet();
```

Niestety w każdej inkrementacji tworzony jest nowy obiekt `AtomicLong`, niezależnie od tego, czy jest potrzebny, czy nie.

Obecnie API Javy zawiera metody, dzięki którym można wykonywać atomowe aktualizacje w prostszy sposób. Metodę `compute` wywołuje się z kluczem i funkcją mającą obliczyć nową wartość. Funkcja ta otrzymuje ów klucz i związaną z nim wartość albo `null`, jeśli taki klucz nie istnieje, i oblicza nową wartość. Poniżej znajduje się przykład aktualizacji słownika liczników całkowitoliczbowych:

```
map.compute(word, (k, v) -> v == null ? 1 : v + 1);
```



W strukturze `ConcurrentHashMap` nie można przechowywać wartości `null`. Warto o tym pamiętać, ponieważ wiele metod wykorzystuje tę wartość jako wskazówkę, że danego klucza nie ma w słowniku.

Istnieją też wersje metod `computeIfPresent` i `computeIfAbsent`, które obliczają nową wartość tylko wtedy, gdy istnieje już stara lub gdy stara nie istnieje. Słownik liczników typu `LongAdder` można zaktualizować w następujący sposób:

```
map.computeIfAbsent(word, k -> new LongAdder()).increment();
```

To wywołanie jest prawie identyczne z wcześniej pokazywanym wywołaniem metody `putIfAbsent`, ale konstruktor `LongAdder` zostaje wywołany tylko wtedy, gdy rzeczywiście jest potrzebny nowy licznik.

Przy pierwszym dodawaniu klucza często konieczne jest wykonanie jakiejś specjalnej czynności. Szczególnie przydatna w takiej sytuacji jest metoda `merge`, posiadająca parametr umożliwiający przekazanie wartości początkowej, która zostanie użyta, gdy klucza jeszcze nie będzie. W przeciwnym przypadku zostanie wywołana przekazana przez programistę funkcja mająca za zadanie utworzyć kombinację z wartości istniejącej i początkowej. (W odróżnieniu od metody `compute`, funkcja *nie* przetwarza klucza).

```
map.merge(word, 1L, (existingValue, newValue) -> existingValue + newValue);
```

Można też napisać to prościej:

```
map.merge(word, 1L, Long::sum);
```

Zwięźlej już się nie da.



Jeśli funkcja przekazana do metody `compute` lub `merge` zwraca `null`, istniejący wpis zostaje usunięty ze słownika.



Pamiętaj, że funkcje przekazywane do metod `compute` i `merge` nie powinny być zbyt rozbudowane, ponieważ w czasie ich działania mogą być zablokowane inne operacje na słowniku. Oczywiście funkcje te nie powinny też zmieniać niczego w innych częściach słownika.

Program pokazany na listingu 12.7 liczy słowa w plikach Javy znajdujących się w drzewie katalogów przy użyciu współbieżnego słownika skrótów.

Listing 12.7. `concurrentHashMap/CHMDemo.java`

```
package concurrentHashMap;

import java.io.*;
import java.nio.file.*;
import java.util.*;
import java.util.concurrent.*;
import java.util.stream.*;

/**
 * Program demonstrujący użycie słowników skrótów.
 * @version 1.0 2018-01-04
 * @author Cay Horstmann
 */
public class CHMDemo
{
    public static ConcurrentHashMap<String, Long> map = new ConcurrentHashMap<>();

    /**
     * Dodaje wszystkie słowa z pliku do współbieżnego słownika skrótów.
     * @param file plik
     */
    public static void process(Path file)
    {
        try (var in = new Scanner(file))
        {
```

```

        while (in.hasNext())
        {
            String word = in.next();
            map.merge(word, 1L, Long::sum);
        }
    }
    catch (IOException e)
    {
        e.printStackTrace();
    }
}

/**
 * Zwraca wszystkie podkatalogi danego katalogu — zobacz rozdziały 1. i 2. w tomie II.
 * @param rootDir katalog główny
 * @return zbiór wszystkich podkatalogów katalogu głównego
 */
public static Set<Path> descendants(Path rootDir) throws IOException
{
    try (Stream<Path> entries = Files.walk(rootDir))
    {
        return entries.collect(Collectors.toSet());
    }
}

public static void main(String[] args)
    throws InterruptedException, ExecutionException, IOException
{
    int processors = Runtime.getRuntime().availableProcessors();
    ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(processors);
    Path pathToRoot = Path.of(".");
    for (Path p : descendants(pathToRoot))
    {
        if (p.getFileName().toString().endsWith(".java"))
            executor.execute(() -> process(p));
    }
    executor.shutdown();
    executor.awaitTermination(10, TimeUnit.MINUTES);
    map.forEach((k, v) ->
    {
        if (v >= 10)
            System.out.println(k + " occurs " + v + " times");
    });
}
}

```

12.5.4. Operacje masowe na współbieżnych słownikach skrótów

W API Javy zapewniono możliwość wykonywania na współbieżnych słownikach skrótów operacji masowych, które są bezpieczne nawet wówczas, gdy na słowniku operują inne wątki. Operacja masowa przegląda słownik i wykonuje działania na elementach, które znajduje. Nie trzeba tworzyć żadnego stałego obrazu słownika. Jeśli nie ma pewności, czy słownik nie jest modyfikowany w czasie działania operacji masowej, jej wynik należy traktować jako przybliżenie stanu słownika.

Istnieją trzy rodzaje operacji:

- `search` wywołuje funkcję na każdym kluczu i/lub każdej wartości, aż funkcja ta zwróci wynik różny od `null`. Następnie szukanie kończy się i następuje zwrócenie wyniku funkcji.
- `reduce` tworzy kombinację wszystkich kluczy i/lub wartości za pomocą przekazanej funkcji akumulacyjnej.
- `forEach` stosuje funkcję do wszystkich kluczy i/lub wartości.

Każda operacja występuje w czterech wersjach:

- `operacjaKeys` — działa na kluczach;
- `operacjaValues` — działa na wartościach;
- `operacja` — działa na kluczach i wartościach;
- `operacjaEntries` — działa na obiektach typu `Map.Entry`.

Z każdą z tych operacji trzeba określić **próg zrównoleglenia**. Jeśli słownik zawiera więcej elementów niż określony limit, następuje zrównoleglenie operacji masowej. Jeśli operacja ma być wykonywana w jednym wątku, należy zastosować próg `Long.MAX_VALUE`. Jeżeli chcesz, aby operacja dysponowała maksymalną liczbą wątków, zdefiniuj próg `1`.

Najpierw przyjrzymy się rodzinie metod `search`:

```
U searchKeys(long threshold, BiFunction<? super K, ? extends U> f)
U searchValues(long threshold, BiFunction<? super V, ? extends U> f)
U search(long threshold, BiFunction<? super K, ? super V, ? extends U> f)
U searchEntries(long threshold, BiFunction<Map.Entry<K, V>, ? extends U> f)
```

Powiedzmy na przykład, że chcemy znaleźć pierwsze słowo, które występuje w tekście więcej niż 1000 razy. W tym celu musimy przeszukać klucze i wartości:

```
String result = map.search(threshold, (k, v) -> v > 1000 ? k : null);
```

Zmienna `result` zostanie ustawiona na pierwsze znalezione słowo lub `null`, jeśli funkcja `search` zwróci `null` dla wszystkich danych wejściowych.

Metoda `forEach` występuje w dwóch wariantach. Pierwszy po prostu stosuje funkcję konsumującą do każdego elementu słownika, np.:

```
map.forEach(threshold,
    (k, v) -> System.out.println(k + " -> " + v));
```

Drugi natomiast przyjmuje dodatkowo funkcję *przekształcającą*, która zostaje zastosowana jako pierwsza, aby jej wynik został przekazany do funkcji konsumującej:

```
map.forEach(threshold,
    (k, v) -> k + " -> " + v, // przekształcenie
    System.out::println); // konsumpcja
```

Funkcja przekształcająca może pełnić rolę filtra. Jeśli zwróci `null`, wartość ta jest po cichu pomijana. Poniżej na przykład drukujemy tylko wpisy zawierające duże wartości:

```
map.forEach(threshold,
(k, v) -> v > 1000 ? k + " -> " + v : null, //filtr i przekształcenie
System.out::println); //wartości null nie są przekazywane do konsumenta
```

Operacje `reduce` tworzą kombinacje otrzymywanych danych za pomocą funkcji akumulacyjnej. Poniżej na przykład obliczamy sumę wszystkich wartości:

```
Long sum = map.reduceValues(threshold, Long::sum);
```

Tak jak w przypadku `forEach`, można też dodatkowo przekazać funkcję przekształcającą. Poniżej obliczamy długość najdłuższego klucza:

```
Integer maxLength = map.reduceKeys(threshold,
String::length, //przekształcenie
Integer::max); //akumulacja
```

Funkcja przekształcająca pełni rolę filtra, który zwraca `null` w celu wykluczenia niechcianych wartości. W poniższym przykładzie obliczamy, ile elementów ma wartość większą niż 1000:

```
Long count = map.reduceValues(threshold,
v -> v > 1000 ? 1L : null,
Long::sum);
```



Jeżeli słownik jest pusty lub wszystkie elementy zostaną odfiltrowane, operacja `reduce` zwraca wartość `null`. Jeśli jest tylko jeden element, zostaje zwrócone jego przekształcenie i funkcja akumulacyjna nie jest wywoływana.

Istnieją specjalizacje zwracające wartości typów `int`, `long` i `double` z przyrostkami `ToInt`, `ToLong` i `ToDouble`. Aby móc z nich skorzystać, należy przekształcić dane wejściowe na typ podstawowy oraz określić wartość domyślną i funkcję akumulacyjną. Wartość domyślna jest zwracana, gdy słownik jest pusty.

```
long sum = map.reduceValuesToLong(threshold,
Long::longValue, //przekształcenie na typ podstawowy
0, //domyślna wartość dla pustego słownika
Long::sum); //akumulator wartości typu podstawowego
```



Specjalizacje te działają inaczej od wersji obiektowych, gdy w strukturze jest tylko jeden element. Nie zwracają przekształconego elementu, lecz tworzą jego kombinację z wartością domyślną. Dlatego też wartość ta musi być neutralna.

12.5.5. Współbieżne widoki zbiorów

Powiedzmy, że zamiast słownika chcemy utworzyć duży i bezpieczny pod względem wątków zbiór. W Javie nie ma klasy `ConcurrentHashSet` i wiadomo, że próba szybkiego jej napisania nie jest dobrym pomysłem. Oczywiście zawsze można użyć słownika `ConcurrentHashMap` ze zmyślonymi wartościami, ale wówczas otrzymamy słownik, a nie zbiór, przez co nie będziemy mogli posługiwać się metodami z interfejsu `Set`.

Statyczna metoda `newKeySet` zwraca obiekt typu `Set<K>`, będący opakowaniem dla `ConcurrentHashMap<K, Boolean>`. (Wszystkie wartości słownika to `Boolean.TRUE`, ale to nas nie obchodzi, ponieważ i tak używamy go jako zbioru).

```
Set<String> words = ConcurrentHashMap.<String>newKeySet();
```

Oczywiście jeśli mamy już słownik, metoda `keySet` zwraca zbiór kluczy. Zbiór ten można modyfikować. Gdy usuwa się z niego elementy, to ze słownika usuwane są klucze (i ich wartości). Nie ma jednak sensu dodawać elementów do zbioru kluczy, ponieważ nie byłoby odpowiadających im wartości do dodania. W klasie `ConcurrentHashMap` zdefiniowano jeszcze jedną metodę `keySet` z wartością domyślną, która jest używana przy dodawaniu elementów do zbioru:

```
Set<String> words = map.keySet(1L);
words.add("Java");
```

Jeśli do tej pory w zbiorze `words` nie było klucza "Java", to teraz ma on przypisaną wartość 1.

12.5.6. Tablice kopiowane przy zapisie

`CopyOnWriteArrayList` i `CopyOnWriteArraySet` to bezpieczne wątkowo kolekcje, których mutatory tworzą kopie tablic. Taki sposób działania sprawdza się w sytuacjach, w których liczba wątków iterujących po kolekcji znacznie przewyższa liczbę wątków ją modyfikujących. Utworzony iterator zawiera referencję do aktualnej tablicy. Jeśli tablica ta zostanie później zmodyfikowana, iterator ten nadal będzie miał starą tablicę, mimo że tablica kolekcji jest zamieniona. Dzięki temu starszy iterator dysponuje spójnym (choć potencjalnie przestarzałym) widokiem, do którego ma dostęp nieobciążony żadnym dodatkowym narzutem synchronizacji.

12.5.7. Równoległe algorytmy tablicowe

Klasa `Arrays` dodano kilka operacji równoległych. Jedną z nich jest statyczna metoda `Arrays.parallelSort`, która sortuje tablicę wartości typów podstawowych lub obiektów. Na przykład:

```
String contents = new String(Files.readAllBytes(
    Path.of("alice.txt"), StandardCharsets.UTF_8)); // wczytanie pliku do łańcucha
String[] words = contents.split("[\\P{L}]+"); // dzielenie wg znaków innych niż litery
Arrays.parallelSort(words);
```

Do sortowania obiektów można użyć komparatora.

```
Arrays.parallelSort(words, Comparator.comparing(String::length));
```

We wszystkich metodach jest możliwość określenia granic zakresu, np.:

```
values.parallelSort(values.length / 2, values.length); // sortuje górną połowę
```



Początkowo słowo `parallel` (równoległy) w nazwach tych metod może dziwić, ponieważ użytkownika nie powinno interesować, w jaki sposób wykonywane jest sortowanie. Jednak projektanci API chcieli, aby było jasne, że chodzi o sortowanie równoległe. Dzięki temu użytkownik metody od razu wie, że nie powinien stosować komparatora z efektami ubocznymi.

Metoda `parallelSetAll` wstawia do tablicy wartości obliczone przez funkcję. Funkcja ta pobiera indeks elementu i oblicza wartość dla tej lokalizacji.

```
Arrays.parallelSetAll(values, i -> i % 10);
//wstawia do values wartości 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2...
```

Bez wątplenia w przypadku tej operacji zrównoleglenie jest korzystne. Istnieją wersje tej metody dla wszystkich tablic typów podstawowych i obiektowych.

Istnieje też metoda o nazwie `parallelPrefix`, która zamienia każdy element tablicy na jego kombinację z poprzednim elementem za pomocą podanej operacji. Że co? Najlepiej obejrzyć przykład. Mamy tablicę [1, 2, 3, 4, ...] i operację \times . Po wykonaniu operacji `Arrays.parallelPrefix(values, (x, y) -> x * y)` zawartość tej tablicy wygląda następująco:

```
[1, 1
 × 2, 1
 × 2
 × 3, 1
 × 2
 × 3
 × 4, ...]
```

Pewnie się zdziwisz, ale takie obliczenia można poddać zrównolegleniu. Najpierw łączymy sąsiednie elementy, jak poniżej:

```
[1, 1
 × 2, 3, 3
 × 4, 5, 5
 × 6, 7, 7
 × 8]
```

Jaśniejsze wartości pozostają nienaruszone. Niewątpliwie obliczenia te można wykonać równolegle w osobnych obszarach tablicy. W następnym kroku aktualizujemy wskazane elementy, mnożąc je przez elementy znajdujące się o jedną lub dwie pozycje niżej:

```
[1, 1 × 2
 , 1 × 2 × 3, 1 × 2 × 3 × 4, 5, 5 × 6, 5 × 6 × 7, 5 × 6 × 7 × 8]
```

To także można zrobić równolegle. Po $\log n$ krokach proces jest zakończony. Jeśli komputer dysponuje wystarczającą liczbą procesorów, taki sposób wykonywania obliczeń jest efektywniejszy niż zwykle liniowe liczenie. W specjalistycznym sprzęcie taki algorytm jest wykorzystywany bardzo często, a jego użytkownicy znajdują dla niego bardzo ciekawe zastosowania.

12.5.8. Starsze kolekcje bezpieczne wątkowo

Od samego początku istnienia Javy klasy `Vector` i `Hashtable` udostępniały bezpieczne wątkowo implementacje tablicy dynamicznej i skrótów. Klasy te są już uważane za przestarzałe i zastąpiono je klasami `ArrayList` i `HashMap`. Klasy te nie są bezpieczne wątkowo. W zamian w bibliotece kolekcji zaproponowano inną technikę. Każdą klasę kolekcji można uczynić bezpieczną wątkowo za pomocą **synchronizacyjnych obiektów opakowujących**:

```
List<E> synchArrayList = Collections.synchronizedList(new ArrayList<E>());
Map<K, V> synchHashMap = Collections.synchronizedMap(new HashMap<K, V>());
```

Metody tak powstałych kolekcji są chronione przez blokadę, co umożliwia bezpieczny wątkowo dostęp.

Należy zapewnić, że żaden wątek nie będzie miał dostępu do struktury danych poprzez oryginalne niesynchronizowane metody. Najprostszym sposobem jest niezapisywanie żadnych referencji do oryginalnego obiektu. Po utworzeniu kolekcji od razu należy przekazać ją do opakowania, tak jak zrobiliśmy to w prezentowanych przykładach.

Nadal trzeba stosować blokowanie po stronie klienta, aby móc *iterować* po kolekcji, podczas gdy inny wątek może ją modyfikować:

```
synchronized (synchHashMap)
{
    Iterator<K> iter = synchHashMap.keySet().iterator();
    while (iter.hasNext()) . . . ;
}
```

Tego samego kodu musimy użyć, jeśli korzystamy z pętli typu `for each`, ponieważ pętla ta używa iteratora. Należy pamiętać, że iterator zgłosi wyjątek `ConcurrentModificationException`, jeśli w trakcie iteracji po kolekcji inny wątek ją zmodyfikuje. Synchronizacja jest nadal wymagana, dzięki czemu można wykryć współbieżne modyfikacje.

Zamiast używać synchronizacyjnych obiektów opakowujących, zazwyczaj lepiej jest skorzystać z kolekcji z pakietu `java.util.concurrent`. Słownik `ConcurrentHashMap` został bardzo starannie zaimplementowany w taki sposób, aby można było uzyskać do niego dostęp w wielu wątkach, nie powodując ich wzajemnego blokowania się, pod warunkiem że działają one na różnych komórkach. Jedyny wyjątek stanowi lista tablicowa, która jest często modyfikowana. W takim przypadku synchronizowana lista `ArrayList` może się okazać lepsza od listy `CopyOnWriteArrayList`.

`java.util.Collections` **1.2**

- `static <E> Collection<E> synchronizedCollection(Collection<E> c)`
- `static <E> List synchronizedList(List<E> c)`
- `static <E> Set synchronizedSet(Set<E> c)`
- `static <E> SortedSet synchronizedSortedSet(SortedSet<E> c)`
- `static <K, V> Map<K, V> synchronizedMap(Map<K, V> c)`
- `static <K, V> SortedMap<K, V> synchronizedSortedMap(SortedMap<K, V> c)`

Tworzy widoki kolekcji, których metody są synchronizowane.

12.6. Zadania i pule wątków

Tworzenie nowego wątku jest dość kosztowną operacją, ponieważ wymaga kontaktu z systemem operacyjnym. Jeśli program tworzy dużą liczbę krótkotrwałych wątków, nie należy każdego zadania wykonywać w osobnym wątku, tylko skorzystać z puli wątków. Pula taka zawiera pewną liczbę wątków gotowych do działania. Kiedy programista przekaże do niej obiekt `Runnable`, jeden z wątków wywoła metodę `run`. Gdy zakończy ona działanie, wątek nie zostaje usunięty, tylko jest przechowywany w oczekiwaniu na obsłużenie następnego zadania.

W poniższych sekcjach znajduje się opis narzędzi systemu współbieżności Javy do koordynacji zadań współbieżnych.

12.6.1. Interfejsy Callable i Future

Obiekt implementujący interfejs `Runnable` opakowuje zadania, które działają asynchronicznie. Można go traktować jako asynchroniczną metodę bez parametrów i wartości zwrotnej. Obiekt `Callable` jest podobny do `Runnable`, ale posiada wartość zwrótną. Interfejs `Callable` jest typem parametryzowanym zawierającym jedną metodę o nazwie `call`.

```
public interface Callable<V>
{
    V call() throws Exception;
}
```

Parametr typowy określa typ zwracanej wartości. Na przykład interfejs `Callable<Integer>` reprezentuje asynchroniczne działania, których wynikiem jest obiekt typu `Integer`.

Obiekt `Future` przechowuje *wynik* asynchronicznych obliczeń. Można rozpocząć obliczenia, przekazać gdzieś obiekt `Future` i zapomnieć o nim. Właściciel tego obiektu może pobrać wynik, kiedy będzie gotowy.

W interfejsie `Future<V>` znajdują się następujące metody:

```
V get()
V get(long timeout, TimeUnit unit)
void cancel(boolean mayInterrupt)
boolean isCancelled()
boolean isDone()
```

Wywołanie pierwszej z metod `get` jest zablokowane do zakończenia obliczeń. Druga wersja tej metody również zakłada blokadę, ale zgłasza wyjątek `TimeoutException`, jeśli obliczenia nie zakończą się przed upływem określonego czasu. Obie te metody zgłaszają wyjątek `InterruptedException` → `Exception`, jeśli wątek przeprowadzający obliczenia zostanie przerwany. Kiedy obliczenia zakończą się, metoda `get` natychmiast zwraca wartość.

Metoda `isDone` zwraca wartość `false`, jeśli obliczenia są jeszcze w toku, lub `true` w przeciwnym przypadku.

Operację można przerwać za pomocą metody `cancel`. Jeśli jeszcze się nie rozpoczęła, zostanie anulowana i nigdy się nie rozpocznie. Jeśli jest w toku, zostanie przerwana, gdy parametr `mayInterrupt` ma wartość `true`.



Anulowanie zadania to proces dwuetapowy — najpierw należy znaleźć jego wątek, a następnie go przerwać. Implementacja zadania (w metodzie `call`) musi wykryć to przerwanie, po czym zaniechać dalszego wykonywania operacji. Jeśli obiekt `Future` „nie wie”, w którym wątku wykonywane jest zadanie, lub jeśli zadanie nie monitoruje stanu przerwania wątku, w którym działa, anulowanie się nie uda.

Jednym ze sposobów na wykonanie obiektu `Callable` jest użycie obiektu `FutureTask`, który implementuje zarówno interfejs `Future`, jak i `Runnable`, dzięki czemu można utworzyć dla niego wątek wykonawczy:

```
Callable<Integer> task = . . . ;
var futureTask = new FutureTask<Integer>(task);
var t = new Thread(futureTask); // Runnable
t.start();
. . .
Integer result = task.get(); // Future
```

Częściej obiekt `Callable` przekazuje się do egzekutora. Szerzej piszemy o tym w następnej sekcji.

```
java.util.concurrent.Callable<V> 5.0
```

- `V call()`

Uruchamia zadanie, które zwraca wynik.

```
java.util.concurrent.Future<V> 5.0
```

- `V get()`

- `V get(long time, TimeUnit unit)`

Zwraca wynik, włączając blokadę, dopóki nie jest on dostępny lub nie upłynie określona ilość czasu. Druga wersja zgłasza wyjątek `TimeoutException`, jeśli zakończy się niepowodzeniem.

- `boolean cancel(boolean mayInterrupt)`

Próbuje anulować wykonywanie zadania. Zadanie, które zostało już uruchomione, a ma parametr `mayInterrupt` ustawiony na `true`, zostanie przerwane. Jeśli operacja anulowania zakończy się pomyślnie, metoda ta zwraca wartość `true`.

- `boolean isCancelled()`

Zwraca wartość `true`, jeśli zadanie zostało anulowane przed ukończeniem.

- `boolean isDone()`

Zwraca wartość `true`, jeśli zadanie zostało ukończone w normalny sposób, zostało anulowane lub spowodowało wyjątek.

```
java.util.concurrent.FutureTask<V> 5.0
```

- `FutureTask(Callable<V> task)`

- `FutureTask(Runnable task, V result)`

Tworzy obiekt, który jest zarówno typu `Future<V>`, jak i `Runnable`.

12.6.2. Klasa Executors

W klasie `Executors` znajduje się kilka statycznych metod fabrycznych służących do tworzenia puli wątków (tabela 12.2).

Tabela 12.2. Metody fabryczne klasy `Executors`

Metoda	Opis
<code>newCachedThreadPool</code>	W razie potrzeby tworzy nowe wątki. Nieaktywne wątki są przetrzymywane przez 60 sekund.
<code>newFixedThreadPool</code>	Pula zawierająca ustaloną liczbę wątków. Nieaktywne wątki są zachowywane bezterminowo.
<code>newWorkStealingPool</code>	Pula odpowiednia do zadań typu „rozgałęzienie-łączenie” (punkt 12.6.4), w ramach których złożone zadanie zostaje podzielone na mniejsze części i nieaktywne wątki „podkradają” proste zadania.
<code>newSingleThreadExecutor</code>	Pula składająca się z jednego wątku wykonującego zadania po kolei (podobnie do wątku dystrybucji zdarzeń w Swing).
<code>newScheduledThreadPool</code>	Ustalona harmonogramowana pula wątków. Zastępstwo dla <code>java.util.Timer</code> .
<code>newSingleThreadScheduledExecutor</code>	Harmonogramowana pula składająca się z jednego wątku.

Metoda `newCachedThreadPool` tworzy pulę wątków, która wykonuje zadania natychmiast za pomocą jednego z wątków nieaktywnych, jeśli taki jest, lub tworząc nowy wątek w przeciwnym przypadku. Metoda `newFixedThreadPool` tworzy pulę wątków o ustalonym rozmiarze. Jeśli zadań jest więcej niż wolnych wątków, są one umieszczane w kolejce i wykonywane po zakończeniu wcześniejszych zadań. Metoda `newSingleThreadExecutor` tworzy pulę składającą się z jednego wątku, który wykonuje zadania jedno po drugim. Wszystkie trzy opisane metody zwracają obiekt klasy `ThreadPoolExecutor`, która implementuje interfejs `ExecutorService`.

Buforowanej puli wątków należy używać, gdy korzysta się z krótkotrwałych wątków lub dużo czasu traci się na blokowanie. Jeśli jednak wątki intensywnie pracują bez blokowania, lepiej nie uruchamiać zbyt wielu naraz.

Optymalną szybkość wykonywania uzyskuje się przy liczbie współbieżnych wątków odpowiadającej liczbie rdzeni procesora. W takiej sytuacji należy utworzyć stałą pulę wątków.

Jednowątkowy egzekutor umożliwia analizę wydajności. Jeśli tymczasowo zamieni się buforowaną lub stałą pulę wątków na pulę jednowątkową, można sprawdzić, w jakim stopniu brak współbieżności spowolni działanie aplikacji.



W Javie EE dostępna jest podklasa `ManagedExecutorService` odpowiednia do pracy z zadaniami współbieżnymi w środowisku Java EE. Także systemy sieciowe, takie jak Play, zawierają usługi wykonawcze przeznaczone dla zadań w obrębie systemu.

Obiekt `Runnable` lub `Callable` można przekazać do `ExecutorService` za pomocą jednej z poniższych metod:

```
Future<T> submit(Callable<T> task)
Future<?> submit(Runnable task)
Future<T> submit(Runnable task, T result)
```

Pula wykona powierzone jej zadanie przy najbliższej sposobności. Metoda `submit` zwraca obiekt typu `Future`, przy użyciu którego można pobrać wynik lub anulować zadanie.

Druga z wymienionych metod zwraca dość osobliwie wyglądający typ `Future<?>`. Na rzecz tego obiektu można wywołać metody `isDone`, `cancel` lub `isCancelled`. Natomiast metoda `get` w chwili ukończenia zwraca wartość `null`.

Trzecia wersja metody `submit` zwraca obiekt `Future`, którego metoda `get` zwraca wynik operacji, gdy jest już gotowy.

Po zakończeniu pracy w puli wątków należy wywołać metodę `shutdown`. Inicjalizuje ona operację zamykającą pulę. Egzekutor, który jest zamykany, nie przyjmuje żadnych nowych zadań. Po zakończeniu wszystkich zadań wątki puli zostają zakończone. Istnieje także metoda `shutdownNow`, która powoduje, że pula anuluje wszystkie jeszcze niezaczone zadania.

Oto zestawienie działań, które należy wykonać, aby użyć puli wątków:

1. Wywołaj statyczną metodę `newCachedThreadPool` lub `newFixedThreadPool` z klasy `Executors`.
2. Przekaż obiekty `Runnable` lub `Callable` za pomocą metody `submit`.
3. Wykorzystaj zwrócone obiekty `Future`, jeśli chcesz mieć możliwość anulowania zadań lub jeśli przekażesz obiekty `Callable`.
4. Jeśli nie chcesz przekazywać więcej zadań, wywołaj metodę `shutdown`.

Interfejs `ScheduledExecutorService` zawiera metody służące do planowego i wielokrotnego wykonywania zadań. Tworzenie pul wątków jest możliwe dzięki uogólnieniu klasy `java.util.Timer`. Metody `newScheduledThreadPool` i `newSingleThreadScheduledExecutor` klasy `Executors` zwracają obiekty implementujące interfejs `ScheduledExecutorService`.

Zadania `Runnable` i `Callable` można zaplanować do jednorazowego wykonania po uprzednim odłożeniu ich na jakiś czas. Zadanie `Runnable` można także wykonywać w określonych odstępach czasu. Szczegółowe informacje na ten temat znajdują się w wyciągach z API.

`java.util.concurrent.Executors` 5.0

- `ExecutorService newCachedThreadPool()`
Zwraca pulę wątków, która w razie potrzeby tworzy wątki, i kończy te, które są nieaktywne przez 60 sekund.
- `ExecutorService newFixedThreadPool(int threads)`
Zwraca pulę wątków, która wykonuje zadania przy użyciu określonej liczby wątków.

- `ExecutorService newSingleThreadExecutor()`
Zwraca egzekutor, który wykonuje zadania kolejno w jednym wątku.
- `ScheduledExecutorService newScheduledThreadPool(int threads)`
Zwraca pulę wątków wykorzystującą określoną liczbę wątków do planowania zadań.
- `ScheduledExecutorService newSingleThreadScheduledExecutor()`
Zwraca egzekutor planujący zadania w jednym wątku.

`java.util.concurrent.ExecutorService` **5.0**

- `Future<T> submit(Callable<T> task)`
- `Future<T> submit(Runnable task, T result)`
- `Future<?> submit(Runnable task)`
Przekazuje zadanie do wykonania.
- `void shutdown()`
Zamyka usługę. Kończy przekazane wcześniej zadania, ale nie przyjmuje nowych.

`java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor` **5.0**

- `int getLargestPoolSize()`
Zwraca największy rozmiar puli wątków w czasie działania egzekutora.

`java.util.concurrent.ScheduledExecutorService` **5.0**

- `ScheduledFuture<V> schedule(Callable<V> task, long time, TimeUnit unit)`
- `ScheduledFuture<?> schedule(Runnable task, long time, TimeUnit unit)`
Wykonuje dane zadanie po upływie określonej ilości czasu.
- `ScheduledFuture<?> scheduleAtFixedRate(Runnable task, long initialDelay, long period, TimeUnit unit)`
Ustawia harmonogram uruchamiania danego zadania w równych odstępach czasu, zaczynając po upływie początkowego opóźnienia (`initialDelay`).
- `ScheduledFuture<?> scheduleWithFixedDelay(Runnable task, long initialDelay, long delay, TimeUnit unit)`
Ustawia harmonogram uruchamiania danego zadania w określonych odstępach czasu. Długość czasu opóźnienia kolejnych wywołań wynosi tyle, ile upłynęło czasu od ukończenia jednego wywołania do rozpoczęcia kolejnego. Pierwsze wykonanie następuje po upływie `initialDelay` czasu.

12.6.3. Kontrolowanie grup zadań

Wiemy już, jak wykorzystywać egzekutor w roli puli wątków mającej na celu zwiększenie szybkości wykonywania zadań. Czasami egzekutory są wykorzystywane do bardziej taktycznych celów, na przykład kontrolowania grup spokrewnionych zadań. Na przykład wszystkie zadania w egzekutorze można zakończyć za pomocą jednego wywołania metody `shutdownNow`.

Metoda `invokeAny` przekazuje wszystkie obiekty z kolekcji obiektów typu `Callable` i zwraca wynik ukończonego zadania. Nie wiadomo, które to zadanie — prawdopodobnie to, które zostało ukończone najwcześniej. Metody tej można użyć w algorytmie wyszukiującym, który może przyjąć każde rozwiązanie. Wyobraźmy sobie na przykład, że chcemy rozłożyć na czynniki dużą liczbę całkowitą — operacja wymagana do łamania szyfru RSA. Można przekazać kilka zadań, z których każde próbuje rozkładu przy użyciu liczb z innego zakresu. Kiedy tylko którekolwiek z nich ma odpowiedź, dalsze obliczenia można zatrzymać.

Metoda `invokeAll` przesyła wszystkie obiekty `Callable` z kolekcji i zwraca listę obiektów `Future`, które reprezentują rozwiązania wszystkich zadań. Wyniki te można przetwarzać w następujący sposób:

```
List<Callable<T>> tasks = . . . ;
List<Future<T>> results = executor.invokeAll(tasks);
for (Future<T> result : results)
    processFurther(result.get());
```

W pętli `for` pierwsze wywołanie metody `result.get()` włącza blokadę, aż pierwszy wynik stanie się dostępny. Nie stanowi to problemu, jeśli wszystkie zadania kończą się mniej więcej w tym samym czasie. Jednak lepiej byłoby pobierać wyniki w takiej kolejności, w jakiej są udostępniane. Można to osiągnąć za pomocą klasy `ExecutorCompletionService`.

Należy zacząć od utworzenia w normalny sposób egzekutora. Następnie tworzymy obiekt `ExecutorCompletionService`, do którego przekazujemy zadania. Obiekt ten zarządza kolejką blokującą zawierającą obiekty typu `Future`, w których zapisywane są wyniki zadań. W związku z tym powyższe obliczenia można wykonać szybciej za pomocą poniższego algorytmu:

```
var service = new ExecutorCompletionService<T>(executor);
ExecutorCompletionService(executor);
for (Callable<T> task : tasks) service.submit(task);
for (int i = 0; i < tasks.size(); i++)
    processFurther(service.take().get());
```

Program na listingu 12.8 przedstawia przykład użycia obiektów `Callable` i egzekutorów. Na początku sprawdzamy, ile plików w drzewie katalogów zawiera dane słowo. Dla każdego pliku tworzymy osobne zadanie:

```
Set<Path> files = descendants(Path.of(start));
var tasks = new ArrayList<Callable<Long>>();
for (Path file : files)
{
    Callable<Long> task = () -> occurrences(word, file);
    tasks.add(task);
}
```

Następnie przekazujemy te zadania do usługi egzekutora:

```
ExecutorService executor = Executors.newCachedThreadPool();
List<Future<Long>> results = executor.invokeAll(tasks);
```

Aby otrzymać ogólny wynik, sumujemy wszystkie wyniki, włączając blokadę do czasu, aż staną się dostępne:

```
long total = 0;
for (Future<Long> result : results)
    total += result.get();
```

Ponadto program ten pokazuje czas spędzony na każdym poszukiwaniu. Wypakuj kod źródłowy JDK i włącz wyszukiwanie. Następnie zamień usługę egzekutora na egzekutor jednowątkowy i włącz wyszukiwanie ponownie, aby sprawdzić, czy wersja współbieżna była szybsza.

W drugiej części programu szukamy pierwszego pliku zawierającego dane słowo. Wyszukiwanie równoległe realizujemy za pomocą metody `invokeAny`. W tym przypadku musimy uważniej zdefiniować zadania. Metoda `invokeAny` kończy działanie natychmiast, gdy któreś z zadań zwróci wynik. W związku z tym nie ma możliwości zdefiniowania zadań wyszukiwania, które zwracałyby wartość logiczną oznaczającą sukces lub porażkę. Nie chcemy kończyć wyszukiwania, gdy jakieś zadanie zakończy się niepowodzeniem. Zakończony niepowodzeniem zadanie zgłasza wyjątek `NoSuchElementException`. Ponadto pomyślne zakończenie jednego zadania powoduje anulowanie pozostałych zadań. Dlatego monitorujemy stan przerwania. Jeśli wątek zostanie przerwany, zadanie wyszukiwania przed zamknięciem drukuje informację, dzięki czemu wiadomo, że operacja anulowania zadziałała.

```
public static Callable<Path> searchForTask(String word, Path path)
{
    return () -> {
        try (var in = new Scanner(path))
        {
            while (in.hasNext())
            {
                if (in.next().equals(word)) return path;
                if (Thread.currentThread().isInterrupted())
                {
                    System.out.println("Szukanie w " + path + " anulowano.");
                    return null;
                }
            }
            throw new NoSuchElementException();
        }
    };
}
```

Ten program drukuje rozmiar największej puli, jaka powstała podczas wykonywania. Nie da się tego sprawdzić poprzez interfejs `ExecutorService`. Dlatego konieczne było wykonanie rzutowania obiektu puli na klasę `ThreadPoolExecutor`.



Patrząc na kod tego programu, można docenić praktyczność usług egzekutorów. We własnych programach staraj się używać egzekutorów do zarządzania wątkami, zamiast uruchamiać wątki indywidualnie.

Listing 12.8. executors/ExecutorDemo.java

```

package executors;

import java.io.*;
import java.nio.file.*;
import java.time.*;
import java.util.*;
import java.util.concurrent.*;
import java.util.stream.*;

/**
 * Program demonstrujący interfejs Callable i egzekutory.
 * @version 1.0 2018-01-04
 * @author Cay Horstmann
 */
public class ExecutorDemo
{
    /**
     * Liczy wystąpienia danego słowa w pliku.
     * @return liczba wystąpień danego słowa
     */
    public static long occurrences(String word, Path path)
    {
        try (var in = new Scanner(path))
        {
            int count = 0;
            while (in.hasNext())
                if (in.next().equals(word)) count++;
            return count;
        }
        catch (IOException ex)
        {
            return 0;
        }
    }

    /**
     * Zwraca wszystkie podkatalogi danego katalogu — zobacz rozdziały 1. i 2. w tomie II.
     * @param rootDir katalog główny
     * @return zbiór wszystkich podkatalogów katalogu głównego
     */
    public static Set<Path> descendants(Path rootDir) throws IOException
    {
        try (Stream<Path> entries = Files.walk(rootDir))
        {
            return entries.filter(Files::isRegularFile)
                .collect(Collectors.toSet());
        }
    }

    /**
     * Tworzy zadanie szukające słowa w pliku.
     * @param word szukane słowo
     * @param path plik do przeszukania
     * @return zadanie wyszukiwania, które zwraca ścieżkę w przypadku powodzenia
     */
    public static Callable<Path> searchForTask(String word, Path path)
    {

```

```

return () -> {
    try (var in = new Scanner(path))
    {
        while (in.hasNext())
        {
            if (in.next().equals(word)) return path;
            if (Thread.currentThread().isInterrupted())
            {
                System.out.println("Szukanie w " + path + " anulowano.");
                return null;
            }
        }
        throw new NoSuchElementException();
    }
};
}

public static void main(String[] args)
    throws InterruptedException, ExecutionException, IOException
{
    try (var in = new Scanner(System.in))
    {
        System.out.print("Wpisz ścieżkę do katalogu podstawowego (np. /opt/jdk-9-src): ");
        String start = in.nextLine();
        System.out.print("Wpisz słowo kluczowe (np. volatile): ");
        String word = in.nextLine();

        Set<Path> files = descendants(Path.of(start));
        var tasks = new ArrayList<Callable<Long>>();
        for (Path file : files)
        {
            Callable<Long> task = () -> occurrences(word, file);
            tasks.add(task);
        }
        ExecutorService executor = Executors.newCachedThreadPool();
        // użyj egzekutora wątku, aby sprawdzić, czy
        // większa liczba wątków przyspiesza wyszukiwanie
        // ExecutorService executor = Executors.newSingleThreadExecutor();

        Instant startTime = Instant.now();
        List<Future<Long>> results = executor.invokeAll(tasks);
        long total = 0;
        for (Future<Long> result : results)
            total += result.get();
        Instant endTime = Instant.now();
        System.out.println("Liczba wystąpień słowa " + word + ": " + total);
        System.out.println("Czas: "
            + Duration.between(startTime, endTime).toMillis() + " ms");

        var searchTasks = new ArrayList<Callable<Path>>();
        for (Path file : files)
            searchTasks.add(searchForTask(word, file));
        Path found = executor.invokeAny(searchTasks);
        System.out.println(word + " występuje w: " + found);

        if (executor instanceof ThreadPoolExecutor) // egzekutor jednowątkowy nie jest
            System.out.println("Największy rozmiar puli: "
                + ((ThreadPoolExecutor) executor).getLargestPoolSize());
    }
}

```



```

        executor.shutdown();
    }
}

```

java.util.concurrent.ExecutorService **5.0**

- T invokeAny(Collection<Callable<T>> tasks)
- T invokeAny(Collection<Callable<T>> tasks, long timeout, TimeUnit unit)

Wykonuje podane zadania i zwraca wynik jednego z nich. Druga z tych metod zgłasza wyjątek `TimeoutException`, jeśli zostanie przekroczony dozwolony czas.

- List<Future<T>> invokeAll(Collection<Callable<T>> tasks)
- List<Future<T>> invokeAll(Collection<Callable<T>> tasks, long timeout, TimeUnit unit)

Wykonuje dane zadania i zwraca wyniki ich wszystkich. Druga z tych metod zgłasza wyjątek `TimeoutException`, jeśli zostanie przekroczony dozwolony czas.

java.util.concurrent.ExecutorCompletionService **5.0**

- ExecutorCompletionService(Executor e)

Tworzy obiekt typu `ExecutorCompletionService`, który przechowuje wyniki zadań określonego egzekutora.

- Future<V> submit(Callable<V> task)
- Future<V> submit(Runnable task, V result)

Przekazuje zadanie do egzekutora.

- Future<V> take()

Usuwa następny wynik lub włącza blokadę, jeśli nie ma dostępnych żadnych wyników.

- Future<V> poll()
- Future<V> poll(long time, TimeUnit unit)

Usuwa następny wynik lub zwraca wartość `null`, jeśli nie ma dostępnych żadnych wyników. Druga wersja tej metody odczekuje określoną ilość czasu.

12.6.4. Metoda rozgałęzienie-złączenie

W niektórych aplikacjach używanych jest wiele wątków, z których większość jest nieaktywna. Przykładem jest serwer sieciowy obsługujący każde połączenie w osobnym wątku. Są też aplikacje tworzące po jednym wątku dla każdego rdzenia procesora. Robią tak choćby aplikacje wykonujące wymagające obliczenia, np. przy przetwarzaniu grafiki albo filmów. Metoda rozgałęzienie-złączenie (ang. *fork-join*), która powstała w Java SE 7, służy do rozwiązywania problemów dotyczących drugiego z wymienionych przypadków. Wyobraźmy sobie, że mamy zadanie przetwarzania, które można naturalnie rozłożyć na podzadania:

```

if (rozmiarProblemu < prog)
    rozwiąż problem bezpośrednio
else
{
    podziel problem na części
    rekurencyjnie wykonaj każdą część
    połącz wyniki
}

```

Jednym z przykładów jest przetwarzanie obrazu. Obraz można poprawić, przekształcając jego górną i dolną połowę. Jeśli ma się do dyspozycji wystarczającą liczbę wolnych procesorów, operacje te można wykonywać równocześnie (trzeba będzie dodatkowo wykonać pracę związaną z połączeniem połówek, ale to mało istotny szczegół).

My przeanalizujemy prostszy przykład. Przypuśćmy, że chcemy się dowiedzieć, ile elementów tablicy spełnia pewien warunek. Dzielimy ją na pół, wykonujemy obliczenia dla każdej z połówek osobno, a następnie sumujemy wyniki.

Aby wykonać nasze rekurencyjne obliczenia w odpowiedni sposób, utworzymy klasę rozszerzającą klasę `RecursiveTask<T>` (jeśli wynik obliczenia jest typu `T`) lub `RecursiveAction` (jeśli nie ma wyniku). Przesłonimy metodę `compute`, aby generowała i wywoływała części zadania oraz łączyła ich wyniki.

```

class Counter extends RecursiveTask<Integer>
{
    . . .
    protected Integer compute()
    {
        if (to - from < THRESHOLD)
        {
            bezpośrednio rozwiązanie problemu
        }
        else
        {
            int mid = (from + to) / 2;
            var first = new Counter(values, from, mid, filter);
            var second = new Counter(values, mid, to, filter);
            invokeAll(first, second);
            return first.join() + second.join();
        }
    }
}

```

Metoda `invokeAll` otrzymuje liczbę zadań i włącza blokadę, dopóki wszystkie one nie zostaną wykonane. Metoda `join` generuje wynik. Stosujemy ją do wszystkich podzadań, aby otrzymać sumę.



Istnieje też metoda `get` do pobierania aktualnego wyniku, ale jest ona mniej atrakcyjna, ponieważ może zgłaszać kontrolowane wyjątki, których nie możemy ponownie zgłaszać w metodzie `compute`.

Pełny kod źródłowy przykładu jest przedstawiony na listingu 12.9.



Pule typu rozgałęzienie-złączenie są zoptymalizowane pod kątem pracy bez blokowania. Jeśli do takiej puli zostanie dodanych zbyt wiele blokujących zadań, może dojść do jej zagłodzenia. Problem ten można rozwiązać przez implementację interfejsu `ForkJoinPool.ManagedBlocker`, ale to zaawansowana technika, której nie będziemy opisywać.

Listing 12.9. forkJoin/forkJoinTest.java

```
package forkJoin;

import java.util.concurrent.*;
import java.util.function.*;

/**
 * Program demonstrujący technikę rozgałęzienie-złączenie
 * @version 1.01 2015-06-21
 * @author Cay Horstmann
 */
public class ForkJoinTest
{
    public static void main(String[] args)
    {
        final int SIZE = 10000000;
        var numbers = new double[SIZE];
        for (int i = 0; i < SIZE; i++) numbers[i] = Math.random();
        var counter = new Counter(numbers, 0, numbers.length, x -> x > 0.5);
        var pool = new ForkJoinPool();
        pool.invoke(counter);
        System.out.println(counter.join());
    }
}

class Counter extends RecursiveTask<Integer>
{
    public static final int THRESHOLD = 1000;
    private double[] values;
    private int from;
    private int to;
    private DoublePredicate filter;

    public Counter(double[] values, int from, int to, DoublePredicate filter)
    {
        this.values = values;
        this.from = from;
        this.to = to;
        this.filter = filter;
    }

    protected Integer compute()
    {
        if (to - from < THRESHOLD)
        {
            int count = 0;
            for (int i = from; i < to; i++)
            {
                if (filter.test(values[i])) count++;
            }
            return count;
        }
    }
}
```

```

    }
    else
    {
        int mid = (from + to) / 2;
        var first = new Counter(values, from, mid, filter);
        var second = new Counter(values, mid, to, filter);
        invokeAll(first, second);
        return first.join() + second.join();
    }
}
}

```

Technika rozgałęzienie-złączenie wykorzystuje efektywny algorytm heurystyczny pozwalający zrównoważyć obciążenie poszczególnych wątków, o nazwie **podkradanie pracy** (ang. *work stealing*). Każdy wątek roboczy ma kolejkę dwukierunkową dla zadań i podzadania umieszcza na jej początku (tylko jeden wątek ma dostęp do tego miejsca, więc nie ma potrzeby stosować blokady). Gdy wątek jest nieaktywny, „podkrada” zadanie z końca innej kolejki dwukierunkowej. Jako że duże podzadania są w ogonie, do podkradania dochodzi rzadko.

12.7. Obliczenia asynchroniczne

Do tej pory obliczenia współbieżne wykonywaliśmy w ten sposób, że dzieliliśmy zadanie na części, a następnie czekaliśmy na ich wykonanie. Tylko że czekanie nie zawsze jest najlepszym pomysłem. W tym podrozdziale nauczysz się implementować obliczenia niewymagające oczekiwania, czyli **asynchroniczne**.

12.7.1. Klasa `CompletableFuture`

Kiedy dany jest obiekt `Future`, należy wywołać metodę `get`, która włącza blokadę, aby uzyskać wartość. Klasa `CompletableFuture` implementuje interfejs `Future` i zapewnia drugi mechanizm uzyskiwania wyniku. Należy zarejestrować **metodę zwrotną**, która zostanie wywołana (w jakimś wątku) z wynikiem, gdy ten stanie się dostępny.

```

CompletableFuture<String> f = . . . ;
f.thenAccept(s -> Process the result string s);

```

W ten sposób można przetwarzać wynik bez stosowania blokady, gdy stanie się dostępny.

W API jest kilka metod zwracających obiekty `CompletableFuture`. Można na przykład asynchronicznie pobierać stronę internetową za pomocą eksperymentalnej klasy `HttpClient`, której opis znajduje się w rozdziale 4. tomu II:

```

HttpClient client = HttpClient.newHttpClient();
HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder(URI.create(urlString)).GET().build();
CompletableFuture<HttpResponse<String>> f = client.sendAsync(
    request, BodyHandler.asString());

```

Jeśli istnieje metoda tworząca gotowy obiekt `CompletableFuture`, to mamy szczęście, ale w większości przypadków konieczne jest utworzenie jej własnoręcznie. Aby wykonać zadanie asynchronicznie i uzyskać obiekt `CompletableFuture`, nie należy go przekazywać bezpośrednio do usługi egzekutora. W zamian należy wywołać statyczną metodę `CompletableFuture.supplyAsync`. Poniżej znajduje się przykładowy program wczytujący stronę internetową bez użycia klasy `HttpClient`:

```
public CompletableFuture<String> readPage(URL url)
{
    return CompletableFuture.supplyAsync(() ->
    {
        try
        {
            return new String(url.openStream().readAllBytes(), "UTF-8");
        }
        catch (IOException e)
        {
            throw new UncheckedIOException(e);
        }
    }, executor);
}
```

Jeśli nie wskażesz egzekutora, zadanie zostanie wykonane na domyślnym egzekutorze (a konkretnie na tym, który zwróci metoda `ForkJoinPool.commonPool()`). Zazwyczaj nie jest to pożądane.



Pierwszy argument metody `supplyAsync` to `Supplier<T>`, a nie `Callable<T>`. Oba interfejsy opisują funkcje bez argumentów i wartość zwrótną typu `T`, ale funkcja `Supplier` nie może zgłaszać wyjątków kontrolowanych. Jak widać w powyższym kodzie, nie był to szczęśliwy wybór.

`CompletableFuture` może zakończyć działanie na dwa sposoby: zwracając wynik lub zgłaszając nieprzechwycony wyjątek. W obu przypadkach należy użyć metody `whenComplete`. Dostarczona funkcja zostaje wywołana z wynikiem (lub `null`, jeśli brak wyniku) i wyjątkiem (lub `null`, jeśli brak wyjątku).

```
f.whenComplete((s, t) -> {
    if (t == null) { Przetwarzanie wyniku s; }
    else { Przetwarzanie obiektu Throwable t; }
});
```

Klasa `CompletableFuture` pozwala na ręczne ustawienie wartości ukończenia. (W innych bibliotekach współbieżności taki obiekt nazywa się obietnicą). Oczywiście, gdy obiekt `CompletableFuture` zostanie utworzony za pomocą metody `supplyAsync`, wartość ukończenia zostaje niejawnie ustawiona w chwili zakończenia zadania. Natomiast jawne ustawienie wartości wyniku daje programiście dodatkową elastyczność. Na przykład, dwa zadania mogą jednocześnie obliczać odpowiedź:

```
var f = new CompletableFuture<Integer>();
executor.execute(() ->
{
    int n = workHard(arg);
    f.complete(n);
});
```

```

    });
    executor.execute(() ->
    {
        int n = workSmart(arg);
        f.complete(n);
    });

```

Aby natomiast uzyskać zakończenie wyjątkiem, należy zastosować następujące wywołanie:

```

Throwable t = . . . ;
f.completeExceptionally(t);

```



Wywołanie metod `complete` lub `completeExceptionally` na tym samym obiekcie `Future` w różnych wątkach jest bezpieczne. Jeśli obiekt jest już ukończony, wywołanie nie powoduje żadnego efektu.

Metoda `isDone` pozwala sprawdzić, czy obiekt `Future` został ukończony (normalnie lub z wyjątkiem). W poprzednim przykładzie metody `workHard` i `workSmart` mogą wykorzystać tę informację w celu zakończenia pracy w chwili znalezienia wyniku przez drugą z nich.



W odróżnieniu od zwykłych obiektów `Future`, obliczenia obiektu `CompletableFuture` nie zostają przerwane w chwili wywołania metody `cancel`. Anulowanie stanowi jedynie sygnał do tego, że obiekt `Future` ma zostać ukończony ze zgłoszeniem wyjątku `CancellationException`. Generalnie jest to logiczne, ponieważ obiekt `CompletableFuture` nie może mieć pojedynczego wątku odpowiedzialnego za jego ukończenie. Ograniczenie to dotyczy także obiektów `CompletableFuture` zwracanych przez takie metody, jak `supplyAsync`, które z zasady można przerywać.

12.7.2. Tworzenie obiektów `CompletableFuture`

Wywołania nieblokujące są implementowane poprzez wywołania zwrotne. Programista rejestruje wywołanie zwrotne dla czynności, która ma zostać wykonana po tym, jak dane zadanie zostanie ukończone. Oczywiście, jeśli kolejna czynność także jest asynchroniczna, następna czynność po tym jest w innym wywołaniu zwrotnym. Choć programista może myśleć, że najpierw ma zostać wykonany krok 1., potem 2., a następnie 3., logika programu może zostać „piekielnie” rozproszona. Sprawa komplikuje się jeszcze bardziej, gdy trzeba dodać obsługę błędów. Powiedzmy, że krok 2. to logowanie użytkownika. Może być konieczne jego powtórzenie, ponieważ istnieje ryzyko, że użytkownik źle wpisze swoją nazwę albo hasło. Implementacja takiej logiki w zestawie wywołań zwrotnych i zrozumienie jej, gdy zostanie napisana przez kogoś innego, to duże wyzwanie.

Klasa `CompletableFuture` rozwiązuje ten problem, umożliwiając tworzenie potoków przetwarzania zadań asynchronicznych.

Powiedzmy na przykład, że chcemy pobrać wszystkie obrazy ze strony internetowej. Mamy taką metodę:

```

public void CompletableFuture<String> readPage(URL url)

```

Metoda ta zwraca tekst ze strony, gdy ten stanie się dostępny. Jeżeli metoda:

```
public List<URL> getImageURLs(String page)
```

zwraca adresy URL obrazów znalezionych na stronie HTML, to można zaplanować jej wywołanie, gdy strona będzie dostępna:

```
CompletableFuture<String> contents = readPage(url);
CompletableFuture<List<URL>> imageURLs = contents.thenApply(this::getLinks);
```

Metoda `thenApply` także nie jest metodą blokującą. Zwraca kolejny obiekt `Future`. Jeśli pierwszy zakończył działanie, jego wynik jest przekazywany do metody `getImageURLs` i wartość zwrótna tej metody staje się ostatecznym wynikiem.

Przy użyciu obiektów klasy `CompletableFuture` można tylko określić, co i w jakiej kolejności ma zostać zrobione. Oczywiście nie wszystko zostanie wykonane naraz, ale najważniejsze jest to, że cały kod mamy w jednym miejscu.

Teoretycznie `CompletableFuture` jest prostym API, ale istnieje wiele wariantów metod do składania obiektów tego typu. Najpierw przyjrzymy się tym, które pracują na pojedynczym obiekcie (tabela 12.3). (Każdej przedstawionej metodzie towarzyszą dwa warianty `Async`, których tu nie opisano. Jeden z nich wykorzystuje wspólny parametr `ForkJoinPool`, a drugi — `Executor`). W tabeli skrótkowo zapisuję rozwlekłe interfejsy funkcyjne, tzn. zamiast `Function` $T \rightarrow U$ piszę $T \rightarrow U$. To oczywiście nie są prawdziwe typy Javy.

Wiesz już, jak wywoływać metodę `thenApply`. Wyobraź sobie, że `f` jest funkcją, która pobiera wartości typu `T` i zwraca wartości typu `U`. Spójrz na poniższe wywołania:

```
CompletableFuture<U> future.thenApply(f);
CompletableFuture<U> future.thenApplyAsync(f);
```

Pierwsze z tych wywołań zwraca obiekt `Future` stosujący `f` do wyniku `future`, gdy ten jest dostępny. Drugie natomiast wywołuje `f` w innym wątku.

Metoda `thenCompose`, zamiast pobierać funkcję mapującą typ `T` na typ `U`, pobiera funkcję mapującą `T` na `CompletableFuture<U>`. Brzmi to dość abstrakcyjnie, ale może być całkiem naturalne. Pomyśl o czynności odczytania strony internetowej znajdującej się pod podanym adresem URL. Zamiast przekazywać metodę:

```
public String blockingReadPage(URL url)
```

bardziej eleganckim rozwiązaniem jest sprawienie, by metoda ta zwracała obiekt `Future`:

```
public CompletableFuture<String> readPage(URL url)
```

Teraz wyobraź sobie, że masz inną metodę odbierającą adres URL od użytkownika, np. z okna dialogowego, które nie przekaże odpowiedzi, dopóki użytkownik nie kliknie przycisku *OK*. To także jest przyszłe zdarzenie:

```
public CompletableFuture<URL> getURLInput(String prompt)
```

Mamy tu dwie funkcje: $T \rightarrow CompletableFuture<U>$ i $U \rightarrow CompletableFuture<V>$. Jeśli druga z nich zostanie wywołana po zakończeniu działania przez pierwszą, to komponują się one do postaci $T \rightarrow CompletableFuture<V>$. Właśnie to robi metoda `thenCompose`.

W poprzedniej sekcji pokazaliśmy, jak obsługiwać wyjątki za pomocą metody `whenComplete`. Istnieje też metoda `handle`, która wymaga funkcji przetwarzającej wynik lub wyjątek i obliczającej nowy wynik. W wielu przypadkach prościej jest wywołać metodę `exceptionally`, która w przypadku wystąpienia wyjątku oblicza wartość zastępczą:

```
CompletableFuture<List<URL>> imageURLs = readPage(url)
    .exceptionally(ex -> "<html></html>")
    .thenApply(this::getImageURLs)
```

W taki sam sposób można postąpić w przypadku limitu czasu:

```
CompletableFuture<List<URL>> imageURLs = readPage(url)
    .completeOnTimeout("<html></html>", 30, TimeUnit.SECONDS)
    .thenApply(this::getImageURLs)
```

Ewentualnie w chwili upływu czasu można zgłosić wyjątek:

```
CompletableFuture<String> = readPage(url).orTimeout(30, TimeUnit.SECONDS)
```

Metody w tabeli 12.3 z wynikiem `void` są używane na końcu potoku przetwarzania.

Tabela 12.3. Dodawanie akcji do obiektu typu `CompletableFuture<T>`

Metoda	Parametr	Opis
<code>thenApply</code>	<code>T -> U</code>	Wywołuje funkcję na wyniku.
<code>thenAccept</code>	<code>T -> void</code>	To samo co <code>thenApply</code> , tylko z wynikiem <code>void</code> .
<code>thenCompose</code>	<code>T -> CompletableFuture<U></code>	Wywołuje funkcję na wyniku i wykonuje zwrócony obiekt <code>Future</code> .
<code>handle</code>	<code>(T, Throwable) -> U</code>	Przetwarza wynik lub błąd i nowy wynik.
<code>whenComplete</code>	<code>(T, Throwable) -> void</code>	To samo co <code>handle</code> , tylko z wynikiem <code>void</code> .
<code>exceptionally</code>	<code>Throwable -> T</code>	Oblicza wynik z błędu.
<code>completeOnTimeout</code>	<code>T, long, TimeUnit</code>	Zwraca daną wartość jako wynik w przypadku upływu limitu czasu.
<code>orTimeout</code>	<code>long, TimeUnit</code>	Zwraca <code>TimeoutException</code> w przypadku przekroczenia limitu czasu.
<code>thenRun</code>	<code>Runnable</code>	Wykonuje <code>Runnable</code> z wynikiem <code>void</code> .

Teraz przyjrzymy się metodom tworzącym kombinacje obiektów `Future` (tabela 12.4).

Trzy pierwsze z tych metod wykonują czynności `CompletableFuture<T>` i `CompletableFuture<U>` współbieżnie, a następnie łączą wyniki.

Następne trzy metody wykonują dwie czynności `CompletableFuture<T>` współbieżnie. Gdy jedna z nich zostanie zakończona, jej wynik zostaje przekazany dalej, a wynik drugiej jest ignorowany.

Statyczne metody `allOf` i `anyOf` pobierają dowolną liczbę obiektów `CompletableFuture` i zwracają `CompletableFuture<Void>`, który kończy działanie, gdy wszystkie z nich lub którykolwiek z nich zakończy działanie. Metoda `allOf` nie zwraca wyniku, a metoda `anyOf` nie kończy pozostałych zadań.

Tabela 12.4. Tworzenie kombinacji obiektów Future

Metoda	Parametr	Opis
thenCombine	CompletableFuture<U>, (T, U) -> V	Wykonuje obie czynności i łączy wyniki za pomocą podanej funkcji.
thenAcceptBoth	CompletableFuture<U>, (T, U) -> void	To samo co thenCombine, tylko z wynikiem void.
runAfterBoth	CompletableFuture<?>, Runnable	Wykonuje Runnable po zakończeniu obu czynności.
applyToEither	CompletableFuture<T>, T -> V	Jeśli dostępny jest wynik jednej lub drugiej czynności, przekazuje go do podanej funkcji.
acceptEither	CompletableFuture<T>, T -> void	To samo co applyToEither, tylko z wynikiem void.
runAfterEither	CompletableFuture<?>, Runnable	Wykonuje Runnable po zakończeniu jednej lub drugiej czynności.
static allOf	CompletableFuture<?>...	Kończy z wynikiem void po tym, jak wszystkie dane obiekty Future zakończą działanie.
static anyOf	CompletableFuture<?>...	Kończy z wynikiem void po tym, jak którykolwiek z danych obiektów Future zakończy działanie.



W rzeczywistości metody opisane w tej sekcji przyjmują parametry typu CompletionStage, a nie CompletableFuture. Interfejs CompletionStage opisuje sposób komponowania obliczeń asynchronicznych, podczas gdy interfejs Future koncentruje się na wyniku obliczeń. CompletableFuture to połączenie CompletionStage i Future.

Listing 12.10 przedstawia kompletny program wczytujący stronę internetową, szukający na niej obrazów, ładujący te obrazy i zapisujący je na dysku lokalnym. Zwróć uwagę, że wszystkie czasochłonne metody zwracają CompletableFuture. W celu uruchomienia obliczeń asynchronicznych stosujemy pewną sztuczkę. Zamiast bezpośrednio wywołać metodę readPage, tworzymy ukończony obiekt Future z argumentem w postaci adresu URL, po czym kombinujemy go z this::readPage. Dzięki temu potok ma jednolity wygląd:

```
CompletableFuture.completedFuture(url)
    .thenComposeAsync(this::readPage, executor)
    .thenApply(this::getImageURLs)
    .thenCompose(this::getImage)
    .thenAccept(this::saveImages);
```

Listing 12.10. completableFutures/CompletableFutureDemo.java

```
package completableFutures;

import java.awt.image.*;
import java.io.*;
import java.net.*;
import java.nio.charset.*;
import java.util.*;
import java.util.concurrent.*;
import java.util.regex.*;
```

```

import javax.imageio.*;

public class CompletableFutureDemo
{
    private static final Pattern IMG_PATTERN = Pattern.compile(
"[<]&#92;s*[iI][mM][gG]\\s*[>]*[sS][rR][cC]\\s*[=]\\s*['\""]([^\\""])*['\""] [>]*[>]");
    private ExecutorService executor = Executors.newCachedThreadPool();
    private URL urlToProcess;

    public CompletableFuture<String> readPage(URL url)
    {
        return CompletableFuture.supplyAsync(() ->
        {
            try
            {
                var contents = new String(url.openStream().readAllBytes(),
                    StandardCharsets.UTF_8);
                System.out.println("Read page from " + url);
                return contents;
            }
            catch (IOException e)
            {
                throw new UncheckedIOException(e);
            }
        }, executor);
    }

    public List<URL> getImageURLs(String webpage) //nie czasochlonne
    {
        try
        {
            var result = new ArrayList<URL>();
            Matcher matcher = IMG_PATTERN.matcher(webpage);
            while (matcher.find())
            {
                var url = new URL(urlToProcess, matcher.group(1));
                result.add(url);
            }
            System.out.println("Znalezione adresy URL: " + result);
            return result;
        }
        catch (IOException e)
        {
            throw new UncheckedIOException(e);
        }
    }

    public CompletableFuture<List<BufferedImage>> getImages(List<URL> urls)
    {
        return CompletableFuture.supplyAsync(() ->
        {
            try
            {
                var result = new ArrayList<BufferedImage>();
                for (URL url : urls)
                {
                    result.add(ImageIO.read(url));
                }
            }
        });
    }
}

```

```

        System.out.println("Załadowano " + url);
    }
    return result;
}
catch (IOException e)
{
    throw new UncheckedIOException(e);
}
}, executor);
}

public void saveImages(List<BufferedImage> images)
{
    System.out.println("Zapisywanie " + images.size() + " images");
    try
    {
        for (int i = 0; i < images.size(); i++)
        {
            String filename = "/tmp/image" + (i + 1) + ".png";
            ImageIO.write(images.get(i), "PNG", new File(filename));
        }
    }
    catch (IOException e)
    {
        throw new UncheckedIOException(e);
    }
    executor.shutdown();
}

public void run(URL url)
    throws IOException, InterruptedException
{
    urlToProcess = url;
    CompletableFuture.completedFuture(url)
        .thenComposeAsync(this::readPage, executor)
        .thenApply(this::getImageURLs)
        .thenCompose(this::getImages)
        .thenAccept(this::saveImages);

    /*
    // ewentualnie można użyć eksperymentalnego klienta HTTP:

    HttpClient client = HttpClient.newBuilder().executor(executor).build();
    HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder(urlToProcess.toURI()).GET()
        .build();
    client.sendAsync(request, BodyProcessor.asString())
        .thenApply(HttpResponse::body).thenApply(this::getImageURLs)
        .thenCompose(this::getImages).thenAccept(this::saveImages);
    */
}

public static void main(String[] args)
    throws IOException, InterruptedException
{
    new CompletableFutureDemo().run(new URL("http://horstmann.com/index.html"));
}
}

```

12.7.3. Czasochłonne zadania w wywołaniach zwrotnych interfejsu użytkownika

Jednym z powodów używania wątków jest możliwość usprawnienia interakcji z programem. Szczególnie ważne jest to w aplikacjach z interfejsem użytkownika. Kiedy program ma do wykonania jakieś czasochłonne zadanie, nie można go pozostawić w wątku interfejsu użytkownika, ponieważ spowoduje to jego zamrożenie. Zamiast tego należy uruchomić nowy wątek.

Jeśli na przykład trzeba odczytać plik, gdy użytkownik kliknie przycisk, nie należy tego robić w taki sposób:

```
var open = new JButton("Open");
open.addActionListener(event ->
    { // ŹLE — czasochłonna czynność wykonywana w wątku interfejsu
      var in = new Scanner(file);
      while (in.hasNextLine())
      {
          String line = in.nextLine();
          . . .
      }
    });
```

Zadanie to należy wykonać w osobnym wątku.

```
open.addActionListener(event ->
    { // DOBRE — czasochłonne zadanie w osobnym wątku
      Runnable task = () ->
      {
          var in = new Scanner(file);
          while (in.hasNextLine())
          {
              String line = in.nextLine();
              . . .
          }
      };
      executor.execute(task);
    });
```

Sęk w tym, że interfejsu użytkownika nie można zaktualizować bezpośrednio z wątku roboczego wykonującego czasochłonne zadanie. Interfejsy użytkownika, na przykład Swing, JavaFX czy Android, nie są bezpieczne wątkowo. Nie można odwoływać się do elementów interfejsu użytkownika z wielu wątków, ponieważ grozi to ich uszkodzeniem. JavaFX i Android pilnują tego i zgłaszają wyjątek, gdy programista próbuje uzyskać dostęp do interfejsu użytkownika z innego wątku niż wątek tego interfejsu.

W związku z tym wszelkie zmiany w interfejsie użytkownika muszą być dokonywane w jego wątku. Każda biblioteka UI zawiera mechanizm umożliwiający zaplanowanie wykonania obiektu `Runnable` w wątku interfejsu użytkownika. Na przykład w bibliotece Swing stosuje się wywołanie:

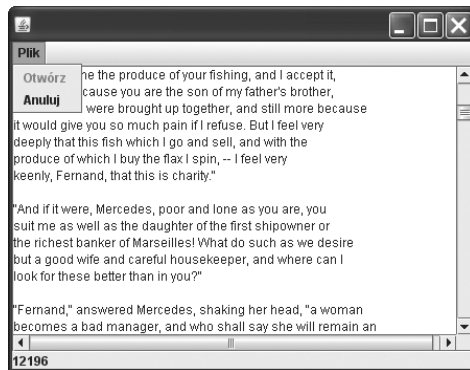
```
EventQueue.invokeLater(() -> label.setText(percentage + "% complete"));
```

Implementacja informacji zwrotnej od użytkownika w wątku roboczym jest kłopotliwa, dlatego każda biblioteka interfejsu użytkownika zawiera jakąś klasę pomocniczą, na przykład `SwingWorker` w `Swing`, `Task` w `JavaFX` czy `AsyncTask` w `Androidzie`. Programista określa działania w ramach czasochłonnego zadania (które jest wykonywane w osobnym wątku), jak również aktualizacje postępu i ostateczną dyspozycję (które są wykonywane w wątku interfejsu użytkownika).

Program przedstawiony na listingu 12.11 posiada polecenia ładowania pliku tekstowego i anulowania tego procesu. Aplikację tę należy testować na pliku o dużych rozmiarach, jak *The Count of Monte Cristo* znajdującym się w katalogu *gutenberg* razem z katalogami z kodem. Plik jest ładowany w osobnym wątku. W trakcie tej operacji polecenie *Otwórz* w menu *Plik* jest nieaktywne, a *Anuluj* aktywne (rysunek 12.6). Po wczytaniu każdej linijki tekstu aktualizowany jest licznik w pasku stanu. Po ukończeniu ładowania polecenie *Otwórz* staje się z powrotem aktywne, polecenie *Anuluj* nieaktywne, a w pasku stanu wyświetla się napis *Zakończono*.

Rysunek 12.6.

Ładowanie pliku
w osobnym wątku



Listing 12.11. `swingWorker/SwingWorkerTest.java`

```
package swingWorker;

import java.awt.*;
import java.io.*;
import java.nio.charset.*;
import java.util.*;
import java.util.concurrent.*;

import javax.swing.*;

/**
 * Program demonstrujący wątek roboczy wykonujący potencjalnie czasochłonne zadanie.
 * @version 1.12 2018-03-17
 * @author Cay Horstmann
 */
public class SwingWorkerTest
{
    public static void main(String[] args) throws Exception
    {
        EventQueue.invokeLater(() -> {
            var frame = new SwingWorkerFrame();

```

```

        frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        frame.setVisible(true);
    });
}
}

/**
 * Ramka mająca obszar tekstowy pokazujący zawartość pliku tekstowego, menu pozwalające otworzyć plik
 * i anulować proces otwierania pliku oraz wiersz pokazujący postęp ładowania pliku
 */
class SwingWorkerFrame extends JFrame
{
    private JFileChooser chooser;
    private JTextArea textArea;
    private JLabel statusLine;
    private JMenuItem openItem;
    private JMenuItem cancelItem;
    private SwingWorker<StringBuilder, ProgressData> textReader;
    public static final int TEXT_ROWS = 20;
    public static final int TEXT_COLUMNS = 60;

    public SwingWorkerFrame()
    {
        chooser = new JFileChooser();
        chooser.setCurrentDirectory(new File("."));

        textArea = new JTextArea(TEXT_ROWS, TEXT_COLUMNS);
        add(new JScrollPane(textArea));

        statusLine = new JLabel(" ");
        add(statusLine, BorderLayout.SOUTH);

        var menuBar = new JMenuBar();
        setJMenuBar(menuBar);

        var menu = new JMenu("Plik");
        menuBar.add(menu);

        openItem = new JMenuItem("Otwórz");
        menu.add(openItem);
        openItem.addActionListener(event -> {
            // Wyświetlenie okna dialogowego wyboru pliku
            int result = chooser.showOpenDialog(null);

            // Jeśli plik został wybrany, zostanie on ustawiony jako ikona etykiety
            if (result == JFileChooser.APPROVE_OPTION)
            {
                textArea.setText("");
                openItem.setEnabled(false);
                textReader = new TextReader(chooser.getSelectedFile());
                textReader.execute();
                cancelItem.setEnabled(true);
            }
        });

        cancelItem = new JMenuItem("Anuluj");
        menu.add(cancelItem);
        cancelItem.setEnabled(false);
    }
}

```

```

cancelItem.addActionListener(event -> textReader.cancel(true));
pack();
}

private class ProgressData
{
    public int number;
    public String line;
}

private class TextReader extends SwingWorker<StringBuilder, ProgressData>
{
    private File file;
    private StringBuilder text = new StringBuilder();

    public TextReader(File file)
    {
        this.file = file;
    }

    // Poniższa metoda jest wykonywana w wątku roboczym - nie operuje na komponentach Swing

    public StringBuilder doInBackground() throws IOException, InterruptedException
    {
        int lineNumber = 0;
        try (var in = new Scanner(new FileInputStream(file), StandardCharsets.UTF_8))
        {
            while (in.hasNextLine())
            {
                String line = in.nextLine();
                lineNumber++;
                text.append(line).append("\n");
                var data = new ProgressData();
                data.number = lineNumber;
                data.line = line;
                publish(data);
                Thread.sleep(1); // Test operacji anulowania, nie ma potrzeby robienia
            }
        }
        return text;
    }

    // Poniższe metody są wykonywane w wątku dystrybucji zdarzeń

    public void process(List<ProgressData> data)
    {
        if (isCancelled()) return;
        var builder = new StringBuilder();
        statusLine.setText("" + data.get(data.size() - 1).number);
        for (ProgressData d : data) builder.append(d.line).append("\n");
        textArea.append(builder.toString());
    }

    public void done()
    {
        try
        {
            StringBuilder result = get();

```


Do anulowania zadania w toku służy metoda `cancel` z interfejsu `Future`. Kiedy zadanie jest anulowane, metoda `get` zgłasza wyjątek `CancellationException`.

Jak już wiemy, wywołanie w wątku roboczym metody `publish` spowoduje wywołanie metody `process` na rzecz wątku dystrybucji zdarzeń. Aby zwiększyć wydajność, wyniki zwrócone przez kilka wywołań metody `publish` można zgrupować w jednym wywołaniu metody `process`. Metoda `process` odbiera obiekt `List<V>` zawierający wszystkie wyniki pośrednie.

Użyjemy tej techniki do wczytywania pliku tekstowego. Okazuje się, że komponent `JTextArea` jest niezbyt szybki. Dodawanie linii tekstu z dużego pliku tekstowego (jak *The Count of Monte Cristo*) zajmuje dużo czasu.

Aby pokazać użytkownikowi, że coś się dzieje, w pasku stanu będziemy wyświetlać liczbę wczytanych linijek tekstu. Dlatego dane postępu składają się z aktualnej liczby linii tekstu oraz aktualnej linii tekstu. Dane te pakujemy w prostej klasie wewnętrznej:

```
private class ProgressData
{
    public int number;
    public String line;
}
```

Ostateczny wynik stanowi tekst, który został wczytany do obiektu typu `StringBuilder`. W związku z tym klasa, której potrzebujemy, to `SwingWorker<StringBuilder, ProgressData>`.

Metoda `doInBackground` wczytuje dane z pliku wiersz po wierszu. Po każdym wierszu wywołujemy metodę `publish` publikującą numer i zawartość aktualnej linii.

```
@Override public StringBuilder doInBackground() throws IOException, InterruptedException
{
    int lineNumber = 0;
    var in = new Scanner(new FileInputStream(file), StandardCharsets.UTF_8);
    while (in.hasNextLine())
    {
        String line = in.nextLine();
        lineNumber++;
        text.append(line).append("\n");
        var data = new ProgressData();
        data.number = lineNumber;
        data.line = line;
        publish(data);
        Thread.sleep(1); // Test operacji anulowania, nie ma potrzeby robienia tego w swoich programach.
    }
    return text;
}
```

Po każdej linii tekstu usypiamy wątek na jedną milisekundę, aby można było spokojnie przetestować anulowanie. Oczywiście w programach przeznaczonych do użytku nie należy tego robić, aby ich nie spowalniać. Jeśli postawimy przed tym wierszem symbol komentarza, zauważymy, że tekst książki wczytuje się dość szybko i jest tylko kilka większych aktualizacji interfejsu użytkownika.

Metoda `process` ignoruje wszystkie linie tekstu poza ostatnią oraz łączy wszystkie linie w jednej aktualizacji obszaru tekstowego.

```

@Override public void process(List<ProgressData> data)
{
    if (isCancelled()) return;
    var b = new StringBuilder();
    statusLine.setText("" + data.get(data.size() - 1).number);
    for (ProgressData d : data) b.append(d.line).append("\n");
    textArea.append(b.toString());
}

```

W metodzie `done` obszar tekstowy jest aktualizowany kompletnym tekstem, a polecenie *Anuluj* zostaje wyłączone.

Warto zwrócić uwagę na sposób uruchomienia obiektu klasy `SwingWorker` w nasłuchiwaczu zdarzeń elementu menu *Otwórz*.

Ta prosta technika pozwala na wykonywanie czasochłonnych zadań przy zachowaniu wrażliwości interfejsu użytkownika.

```
javax.swing.SwingWorker<T, V> 6
```

- `abstract T doInBackground()`

Tę metodę należy przededefiniować, aby wykonywała zadanie w tle i zwracała wynik swojego działania.

- `void process(List<V> data)`

Tę metodę należy przededefiniować, aby przetwarzała pośrednie dane przetwarzania w wątku dystrybucji zdarzeń.

- `void publish(V... data)`

Przesyła pośrednie dane postępu do wątku dystrybucji zdarzeń. Należy ją wywoływać w metodzie `doInBackground`.

- `void execute()`

Planuje wykonanie obiektu klasy `SwingWorker` w wątku roboczym.

- `SwingWorker.StateValue getState()`

Sprawdza stan obiektu `SwingWorker` — `PENDING`, `STARTED` lub `DONE`.

12.8. Procesy

Do tej pory pokazywaliśmy, jak wykonywać kod Javy w osobnych wątkach w obrębie jednego programu. Czasami jednak konieczne jest wykonanie innego programu. Do tego służą klasy `ProcessBuilder` i `Process`. Klasa `Process` wykonuje polecenie w osobnym procesie systemu operacyjnego oraz umożliwia komunikację poprzez standardowe strumienie wejścia, wyjścia i błędów. Klasa `ProcessBuilder` umożliwia konfigurację obiektu `Process`.



Klasa `ProcessBuilder` to elastyczniejsze zastępstwo dla wywołań `Runtime.exec`.

12.8.1. Budowanie procesu

Najpierw należy określić polecenie, które ma zostać wykonane. Można je przekazać w postaci obiektu `List<String>` lub po prostu łańcuchów tworzących całość polecenia.

```
var builder = new ProcessBuilder("gcc", "myapp.c");
```



Pierwszy łańcuch musi być poleceniem wykonywalnym, a nie wbudowanym poleceniem powłoki. Aby na przykład w systemie Windows wykonać polecenie `dir`, należy zbudować proces z łańcuchów `"cmd.exe"`, `"/C"` oraz `"dir"`.

Każdy proces ma katalog roboczy, na bazie którego są określane ścieżki względne katalogów podrzędnych. Domyślnie katalog roboczy procesu jest tożsamy z katalogiem maszyny wirtualnej, czyli najczęściej tym, w którym uruchomiono program. Można go zmienić za pomocą metody `directory`:

```
builder = builder.directory(pathToFile());
```



Każda z metod do konfiguracji obiektów `ProcessBuilder` zwraca ten obiekt, dzięki czemu można tworzyć łańcuchy poleceń. Ostatecznie zawsze wygląda to tak:

```
Process p = new ProcessBuilder(command).directory(file)...start();
```

Następnie należy określić, co ma się stać ze standardowymi strumieniami wejścia, wyjścia i błędów procesu. Domyślnie każdy z nich jest potokiem, do którego można uzyskać dostęp w następujący sposób:

```
OutputStream processIn = p.getOutputStream();
InputStream processOut = p.getInputStream();
InputStream processErr = p.getErrorStream();
```

Pamiętaj, że strumień wejściowy procesu jest strumieniem wyjściowym w JVM! Cokolwiek programista w nim zapisze, trafia na wejście procesu. I analogicznie, programista odczytuje to, co proces zapisze w strumieniach wyjściowym i błędów. Dla programisty są to strumienie wejściowe.

Programista może zdecydować, by strumienie wejściowy, wyjściowy i błędów nowego procesu były takie same jak strumienie JVM. Jeśli użytkownik uruchomi JVM w konsoli, wpisywane przez niego dane są przekazywane do procesu, którego wyniki także są pokazywane w konsoli. Aby zdefiniować to ustawienie dla wszystkich trzech strumieni, należy zastosować następujące wywołanie:

```
builder.redirectIO()
```

Jeśli potrzebne jest uzgodnienie tylko niektórych strumieni, należy przekazać wartość `ProcessBuilder.Redirect.INHERIT` do metody `redirectInput`, `redirectOutput` lub `redirectError`. Na przykład:

```
builder.redirectOutput(ProcessBuilder.Redirect.INHERIT);
```

Do plików strumienie procesów można przekierowywać przy użyciu obiektów `File`:

```
builder.redirectInput(inputFile)
    .redirectOutput(outputFile)
    .redirectError(errorFile)
```

Pliki strumieni wyjściowego i błędów są tworzone lub obcinane w chwili uruchomienia procesu. Aby zamiast tego dołączać dane na końcu, należy dodać poniższy wiersz kodu:

```
builder.redirectOutput(ProcessBuilder.Redirect.appendTo(outputFile));
```

Dobrym pomysłem jest połączenie strumieni wyjściowego i błędów, aby dane wyjściowe i komunikaty o błędach były pokazywane w kolejności ich generowania przez proces. W tym celu należy zastosować następujące wywołanie:

```
builder.redirectErrorStream(true)
```

Jednak od tej pory nie można już wywoływać metody `redirectError` obiektu `ProcessBuilder` lub `getErrorStream` obiektu `Process`.

Czasami konieczne jest modyfikowanie zmiennych środowiskowych procesu. W tym przypadku składnia budowy łańcuchowej zawodzi. Najpierw należy utworzyć środowisko budownicze (które jest zainicjalizowane zmiennymi środowiskowymi procesu, w którym działa JVM), a następnie dodawać lub usuwać wpisy.

```
Map<String, String> env = builder.environment();
env.put("LANG", "fr_FR");
env.remove("JAVA_HOME");
Process p = builder.start();
```

Aby można było przekazać wynik jednego procesu na wejście innego (tak jak się to robi za pomocą operatora `|` w powłocie), w Javie 9 zdefiniowano metodę `startPipeline`. Należy przekazać listę budowniczych procesów oraz odczytać wynik ostatniego z nich. Poniżej znajduje się przykład programu wyszukującego rozszerzenia plików w drzewie katalogów:

```
List<Process> processes = ProcessBuilder.startPipeline(List.of(
    new ProcessBuilder("find", "/opt/jdk-9"),
    new ProcessBuilder("grep", "-o", "\\.[^./]*$"),
    new ProcessBuilder("sort"),
    new ProcessBuilder("uniq")
));
Process last = processes.get(processes.size() - 1);
var result = new String(last.getInputStream().readAllBytes());
```

Oczywiście w tym konkretnym przypadku efektywniejszym rozwiązaniem byłoby przejście katalogów w Javie zamiast uruchamiania czterech procesów. Objasnienie tej techniki znajduje się w rozdziale 2. tomu II.

12.8.2. Uruchamianie procesu

Po zakończeniu konfiguracji budowniczego można uruchomić proces, wywołując metodę `start`. Jeśli strumienie wejścia, wyjścia i błędów skonfigurowano jako strumienie, można teraz pisać w strumieniu wejściowym oraz odczytywać dane ze strumieni wyjścia i błędów. Na przykład:

```

Process process = new ProcessBuilder("/bin/ls", "-l")
    .directory(Path.of("/tmp").toFile())
    .start();
try (var in = new Scanner(process.getInputStream())) {
    while (in.hasNextLine())
        System.out.println(in.nextLine());
}

```



Strumienie procesów mają ograniczoną przestrzeń buforową. Nie należy zalewać wejścia oraz od razu powinno się odczytywać dane z wyjścia. Jeśli danych wejściowych i wyjściowych jest dużo, może być konieczne wytwarzanie i odbieranie ich w osobnych wątkach.

Aby poczekać na zakończenie pracy przez proces, należy wywołać:

```
int result = process.waitFor();
```

lub, aby nie czekać w nieskończoność:

```

long delay = . . . ;
if (process.waitFor(delay, TimeUnit.SECONDS)) {
    int result = process.exitValue();
    . . .
} else {
    process.destroyForcibly();
}

```

Pierwsze wywołanie metody `waitFor` zwraca wartość wyjściową procesu (standardowo 0 oznacza powodzenie, a każda inna wartość — błąd). Drugie wywołanie zwraca `true`, jeśli proces nie przekroczy limitu czasu. Następnie należy pobrać wartość wyjściową za pomocą metody `exitValue`.

Zamiast czekać, aż proces się zakończy, można pozostawić go w działaniu i tylko od czasu do czasu sprawdzać, czy nadal działa, za pomocą metody `isAlive`. Aby zamknąć proces, należy wywołać metodę `destroy` lub `destroyForcibly`. Różnica między nimi zależy od platformy. W systemie UNIX pierwsza zamyka proces przy użyciu sygnału `SIGTERM` — a druga przy użyciu `SIGKILL`. (Metoda `supportsNormalTermination` zwraca `true`, jeśli metoda `destroy` może zamknąć proces normalnie).

Informację o zakończeniu działania procesu można też otrzymać asynchronicznie. Wywołanie `process.onExit()` zwraca obiekt `CompletableFuture<Process>`, przy użyciu którego można zaplanować wykonanie dowolnego działania.

```

process.onExit().thenAccept(p -> System.out.println("Wartość wyjścia: " +
p.exitValue()));

```

12.8.3. Uchwyty procesów

Aby zdobyć więcej informacji o procesie, który został uruchomiony przez program, lub o jakimkolwiek innym, który aktualnie działa w komputerze, należy użyć interfejsu `ProcessHandle`. Obiekt `ProcessHandle` można utworzyć na cztery sposoby:

1. Dla danego obiektu `Process p`, `p.toHandle()` zwraca jego obiekt `ProcessHandle`.
2. Dla danego długiego identyfikatora procesu systemu operacyjnego `ProcessHandle.of(id)` zwraca uchwyt tego procesu.
3. `Process.current()` to uchwyt procesu, w którym działa ta maszyna wirtualna Javy.
4. `ProcessHandle.allProcesses()` zwraca obiekt `Stream<ProcessHandle>` zawierający wszystkie procesy systemu operacyjnego, które są widoczne dla bieżącego procesu.

Mając uchwyt procesu, można sprawdzić jego identyfikator, proces nadrzędny oraz procesy potomne:

```
long pid = handle.pid();
Optional<ProcessHandle> parent = handle.parent();
Stream<ProcessHandle> children = handle.children();
Stream<ProcessHandle> descendants = handle.descendants();
```



Egzemplarze typu `Stream<ProcessHandle>` zwracane przez metody `allProcesses`, `children` i `descendants` pokazują tylko migawkę stanu. Zanim programista przejrzy wyniki, każdy proces może zostać zamknięty oraz mogą zostać uruchomione inne.

Metoda `info` zwraca obiekt `ProcessHandle.Info` zawierający metody umożliwiające pobranie informacji o procesie.

```
Optional<String[]> arguments()
Optional<String> command()
Optional<String> commandLine()
Optional<String> startInstant()
Optional<String> totalCpuDuration()
Optional<String> user()
```

Wszystkie te metody zwracają wartości typu `Optional`, ponieważ nie każdy system operacyjny musi udostępniać wszystkie te informacje.

Do monitorowania i wymuszonego zamykania procesów interfejs `ProcessHandle` posiada te same metody (`isActive`, `supportsNormalTermination`, `destroy`, `destroyForcibly` oraz `onExit`) co klasa `Process`. Nie ma natomiast odpowiednika metody `waitFor`.

`java.lang.ProcessBuilder` **5**

- `ProcessBuilder(String... command)`
- `ProcessBuilder(List<String> command)`

Tworzy budowniczego procesu przy użyciu podanego polecenia i przekazanych argumentów.

- `ProcessBuilder directory(File directory)`

Ustawia katalog roboczy procesu.

- `ProcessBuilder inheritIO() 9`

Zmusza proces do korzystania ze standardowych strumieni wejścia, wyjścia i błędów maszyny wirtualnej.

- `ProcessBuilder redirectErrorStream(boolean redirectErrorStream)`

Jeśli parametr `redirectErrorStream` ma wartość `true`, standardowy strumień błędów procesu zostaje połączony ze standardowym strumieniem wyjściowym.

- `ProcessBuilder redirectInput(File file)` 7
- `ProcessBuilder redirectOutput(File file)` 7
- `ProcessBuilder redirectError(File file)` 7

Przekierowuje standardowe strumienie wejścia, wyjścia i błędów procesu do danego pliku.

- `ProcessBuilder redirectInput(ProcessBuilder.Redirect source)` 7
- `ProcessBuilder redirectOutput(ProcessBuilder.Redirect destination)` 7
- `ProcessBuilder redirectError(ProcessBuilder.Redirect destination)` 7

Przekierowuje standardowe strumienie wejścia, wyjścia i błędów procesu do `destination`. Parametr ten może mieć jedną z następujących wartości:

- `Redirect.PIPE` — domyślne ustawienie, dostęp przez obiekt `Process`
- `Redirect.INHERIT` — strumień z maszyny wirtualnej
- `Redirect.DISCARD`
- `Redirect.from(file)`
- `Redirect.to(file)`
- `Redirect.appendTo(file)`

- `Map<String,String> environment()`

Zwraca słownik, który można modyfikować, do ustawiania zmiennych środowiskowych procesu.

- `Process start()`

Uruchamia proces i zwraca jego obiekt `Process`.

- `static List<Process> startPipeline(List<ProcessBuilder> builders)` 9

Uruchamia potok procesów, łącząc standardowe wyjście każdego ze standardowym wejściem następnego.

```
java.lang.Process 1.0
```

- `abstract OutputStream getOutputStream()`

Pobiera strumień umożliwiający zapis w strumieniu wejściowym procesu.

- `abstract InputStream getInputStream()`
- `abstract InputStream getErrorStream()`

Tworzy strumień wejściowy umożliwiający odczyt ze strumienia wyjściowego lub błędów procesu.

- `abstract int waitFor()`
Czeka, aż proces zakończy działanie, i zwraca wartość wyjścia.
- `boolean waitFor(long timeout, TimeUnit unit)` **8**
Czeka na zakończenie procesu, ale nie dłużej niż określony czas. Zwraca `true`, jeśli proces zostanie zamknięty.
- `abstract int exitValue()`
Zwraca wartość wyjścia procesu. Tradycyjnie wartość wyjściowa różna od zera oznacza błąd.
- `boolean isAlive()` **8**
Sprawdza, czy proces jeszcze działa.
- `abstract void destroy()`
- `Process destroyForcibly()` **8**
Zamyka ten proces normalnie lub wymusza zamknięcie.
- `boolean supportsNormalTermination()` **9**
Sprawdza, czy dany proces można zamknąć normalnie, czy konieczne jest wymuszenie jego zniszczenia.
- `ProcessHandle toHandle()` **9**
Zwraca obiekt `ProcessHandle` opisujący ten proces.
- `CompletableFuture<Process> onExit()` **9**
Zwraca obiekt `CompletableFuture`, który zostanie wykonany po zamknięciu tego procesu.

java.lang.ProcessHandle **9**

- `static Optional<ProcessHandle> of(long pid)`
- `static Stream<ProcessHandle> allProcesses()`
- `static ProcessHandle current()`
Zwraca uchwyt: procesu o określonym identyfikatorze, wszystkich procesów lub procesu maszyny wirtualnej.
- `Stream<ProcessHandle> children()`
- `Stream<ProcessHandle> descendants()`
Zwraca uchwyty procesów potomnych tego procesu.
- `long pid()`
Zwraca identyfikator tego procesu.
- `ProcessHandle.Info info()`
Zwraca szczegółowe informacje o tym procesie.

`java.lang.ProcessHandle.Info` 9

- `Optional<String[]> arguments()`
- `Optional<String> command()`
- `Optional<String> commandLine()`
- `Optional<Instant> startInstant()`
- `Optional<Instant> totalCpuDuration()`
- `Optional<String> user()`

Zwraca wybraną informację, jeśli jest dostępna.

W tym miejscu kończy się pierwszy tom książki *Java. Podstawy*. Opisano w nim podstawy języka Java oraz niektóre fragmenty jego API, które są potrzebne w większości projektów programistycznych. Mamy nadzieję, że podobała Ci się podróż przez podstawowe zagadnienia związane z Javą i że udało Ci się tu znaleźć przydatne wiadomości. Dodatkowe informacje na temat systemu modułów Javy, funkcji sieciowych, zaawansowanych technik programowania interfejsu użytkownika i grafiki, bezpieczeństwa aplikacji czy internacjonalizacji zostały zawarte w drugim tomie.

Skorowidz

A

- AboutDialog, 626
- abstract, 215
- Abstract Window Toolkit, 505
- AbstractAction, 541, 544, 593
- AbstractButton, 580, 595
- AbstractCollection, 440, 450
- abstrakcja, 215
- ACCELERATOR_KEY, 540
- accelerators, 599
- accept(), 641
- acceptEither(), 719
- access modifier, 52
- AccessibleObject, 263
- accessor method, 137
- accessory component, 638
- Action, 540, 544, 593, 599
- action map, 543
- Action.MNEMONIC_KEY, 599
- ACTION_COMMAND_KEY, 540
- ActionEvent, 532, 551
- ActionListener, 286, 321, 532, 540, 551, 576
- actionPerformed(), 286, 321, 322, 532–534, 540, 551, 576, 593
- adapter class, 538
- add(), 110–112, 441, 453, 462, 516, 606, 686
- addActionListener(), 532, 576, 593, 626
- addAll(), 441, 453, 491, 492
- addChoosableFileFilter(), 637, 640
- addFirst(), 454, 463
- addHandler(), 380
- addItem(), 584, 586
- addLast(), 454, 463
- addLayoutComponent(), 616, 620
- addPropertyChangeListener(), 540
- addSeparator(), 593, 594, 605, 606
- AdjustmentEvent, 551
- AdjustmentListener, 551
- adjustmentValueChanged(), 551
- adnotacje, 403
- agregacja, 131
- akceleratorzy, 598, 599
- akcesorium, 638
- akcje, 539
- aktywność komponentu, 542
- aktywowanie elementów menu, 600
- algorytm, 128, 485, 490
 - quick sort, 117, 487
 - sortowanie, 486, 487
 - tasowanie, 486
 - tworzenie, 493
 - wyszukiwanie binarne, 489
 - znajdowanie liczb pierwszych, 501
- algorytmy równoległe, 699
- allOf(), 475, 719
- analiza
 - danych ze stosu wywołań, 354
 - funkcjonalności klasy, 254
 - obiektów w czasie działania programu, 259
- and(), 501
- andNot(), 501
- annotation, 403
- anonimowe klasy wewnętrzne, 321
- anyOf(), 719
- API, 13, 17
- API Preferences, 552
 - dostęp
 - do tablicy par klucz, 554
 - do węzła drzewa, 553

API Preferences
 repozytorium, 553
 zapis danych w repozytorium, 554
aplety, 28
append(), 84, 574
appendCodePoint(), 84
Application Programming Interface, 13
applyToEither(), 719
applyToEither(), 719
argumenty, 54
Array, 264
ArrayAlg.getMiddle(), 395
ArrayBlockingQueue, 690
ArrayDeque, 444, 463
ArrayDeque, 436
ArrayIndexOutOfBoundsException, 114
ArrayIndexOutOfBoundsException, 340, 341
ArrayList, 235, 237, 240, 390, 438, 444, 454, 700
ArrayList<T>, 234
Arrays, 117, 119, 484
ArrayStoreException, 413
ascender, 526
ascent, 526
asercje, 360
 dokumentacja założeń, 364
 sprawdzanie parametrów, 362
 stosowanie, 362
 warunek wstępny, 363
 włączanie, 362
 wyłączanie, 362
asList(), 484
asocjacja, 131
assert, 361
AssertionError, 361
asynchroniczne obliczenia, 714
autoboxing, 31, 241, 242
automatyczne
 opakowywanie, 242
 usuwanie nieużytków, 22
autowrapping, 242
await(), 666–670
AWT, 505, 506
AWTEvent, 550

B

BadCastException, 421
base class, 200
baseline, 526
Basic Multilingual Plane, 60
bazowy katalog drzewa pakietu, 181
beep(), 288
bezpieczeństwo, 24, 34

biblioteka refleksyjna, 248
big numbers, 56
BigDecimal, 110, 112
BigInteger, 110, 111
binarySearch(), 119, 333, 335, 489
bitowa
 alternatywa, 71
 koniunkcja, 71
 negacja, 71
BitSet, 434, 500, 501
BitVector, 500
bity, 71
BLOCKED, 650
blocking queue, 685
BlockingDeque, 691
BlockingQueue, 691
blok, 53, 94
 inicjujący, 169
 synchronizowany, 674
 try-catch, 345
 try-finally, 351
blokady, 664
 jawne, 670
 wewnętrzne, 670
 wielowejściowe, 664
blokowanie po stronie klienta, 674
błędy, 338
 dane wejściowych, 338
 debugowanie, 383
 kod źródłowy, 338
 ograniczenia fizyczne, 338
 pomyłka o jeden, 485
 przekroczenie zakresu liczby całkowitej, 56
 urządzenia, 338
BMP, 60
Bold, 524
boolean, 56, 61
BooleanHolder, 244
border layout manager, 565
BorderFactory, 581, 582
BorderFactory.createCompoundBorder(), 581
BorderFactory.createEtchedBorder(), 581
BorderFactory.createTitledBorder(), 581
BorderLayout, 566, 567, 617
BoxLayout, 607
break, 94, 106, 107
bridge method, 401
bucket, 455
budowanie łańcuchów wyjątków, 348
ButtonGroup, 578–580, 596
ButtonModel, 562, 579, 580
byte, 56

C

- call
 - by name, 159
 - by reference, 159
 - by value, 159
- call(), 703
- Callable, 702, 703
- callback, 286
- CamelCase, 52
- cancel(), 702, 703, 705
- CANCEL_OPTION, 622
- CancellationException, 727
- case, 106
- cast(), 421
- casting, 68, 212
- catch, 345
- ceiling(), 462
- ChangeEvent, 587
- ChangeListener, 587
- char, 58, 77
- charAt(), 77, 78, 79
- checkbox, 575
- checked exception, 249, 340
- checkedCollection(), 479, 483
- checkedList(), 483
- checkedMap(), 483
- checkedSet(), 483
- checkedSortedMap(), 483
- checkedSortedSet(), 483
- child class, 200
- chwytnie typu wieloznacznego, 418
- ciało metody, 54
- CircleLayout, 617
- class, 52, 141
- Class, 248, 250, 257, 263, 332, 421, 423
- class field, 154
- class loader, 331, 362
- Class.forName(), 249
- Class<T>, 421, 422, 430
- ClassCastException, 213, 224, 264, 413, 480
- ClassLoader, 364
- CLASSPATH, 183
- clear(), 441, 500, 501
- clearAssertionStatus(), 364
- client-side locking, 674
- clone(), 290–293, 336
- Cloneable, 292
- close(), 381
- CLOSED_OPTION, 622
- code planes, 60
- code point, 60
- code units, 60
- codePointAt(), 77, 79
- codePointCount(), 77, 80
- Collection, 436, 440, 442, 450
 - metody, 440
- Collection<E>, 441
- Collections, 478, 482, 486–490
 - max(), 490
 - reverseOrder(), 486
 - unmodifiableList(), 479
- Color, 523, 524
- ColorAction, 535, 541
- combo box, 583
- Comparable, 274, 396, 464
- compareTo(), 79, 111, 247, 248, 274, 276, 278, 393
- CompletableFuture, 714
- completeOnTimeout(), 718
- Component, 511, 524, 564, 570
- ConcurrentHashMap, 692, 693, 701
- ConcurrentLinkedQueue, 692
- ConcurrentModificationException, 449, 450, 692
- ConcurrentSkipListMap, 692, 693
- ConcurrentSkipListSet, 692, 693
- Condition, 669–672
- config(), 379
- Console, 86, 87
- ConsoleHandler, 371, 374, 381
- const, 64
- Constructor, 251, 254, 258, 260
- Constructor<T>, 422
- Container, 536, 564, 565
- contains(), 441
- containsAll(), 441
- containsKey(), 467
- containsValue(), 467
- content pane, 513
- continue, 109
- copy(), 490
- copyArea(), 531
- copyOf(), 116, 119
- CopyOnWriteArrayList, 699
- CopyOnWriteArraySet, 699
- CORBA, 244
- coupling, 131
- covariant return types, 210
- createBevelBorder(), 582
- createCompoundBorder(), 583
- createEmptyBorder(), 582
- createEtchedBorder(), 582
- createLineBorder(), 582
- createLoweredBevelBorder(), 582
- createMatteBorder(), 582
- createTitledBorder(), 582
- currentThread(), 652, 654
- Cursor, 546

- czcionki, 524
 - font, 525
 - interlinia, 526
 - linia bazowa, 526
 - linia dolna pisma, 526
 - linia górna pisma, 526
 - logiczne nazwy, 525
 - nazwa, 524
 - rodzina, 524
 - styl, 525
 - wydłużenie dolne, 526
 - wydłużenie górne, 526
 - wysokość, 526
- czytanie danych, 85

D

- dane XML, 32
- dane ze stosu wywołań, 354
- Date, 90, 91, 133, 134, 137, 150
- deadlock, 667, 680
- debuger, 384
- debugowanie, 383
- deep copying, 291
- default, 106
- DEFAULT, 540
- default package, 177
- DEFAULT_OPTION, 622
- DefaultButtonModel, 562, 563
- definicja
 - klasy uogólnionej, 141, 392
 - stałej klasowej, 64
 - zmiennej, 63
- deklaracja
 - list tablicowych, 234
 - tablic, 112
 - wyjątków kontrolowanych, 341
 - zmiennej tablicowej, 112
 - zmiennych, 61
- dekrementacja, 70
- Delayed, 690
- DelayQueue, 687, 690
- delegacja zdarzeń, 533
- delete(), 85
- demony, 655
- Deque, 462, 463
- derived class, 200
- deriveFont(), 525, 529
- descender, 526
- descendingIterator(), 462
- descent, 526
- dezaktywacja elementu, 551, 600
- diagramy klas, 132
- Dictionary, 402
- Dimension, 511
- disjoint(), 491
- divide(), 111, 112
- do while, 100
- dodawanie klasy do pakietu, 177
- doInBackground(), 726, 728
- dokumentacja, 39
 - API, 79, 81
 - założeń, 364
- dostęp
 - chroniony, 220
 - do elementów listy tablicowej, 237
 - do pakietu, 180
 - do plików, 93
 - do pól, 149
 - do zmiennych, 306
- double, 57
- Double.isNaN(), 58
- Double.NaN, 58
- Double.NEGATIVE_INFINITY, 58
- Double.POSITIVE_INFINITY, 58
- DoubleRectangle2D, 518
- doubly linked list, 446
- draw(), 517, 523
- drawImage(), 530, 531
- drawString(), 523, 526, 530
- drukowanie, 30
- drzewa, 458
 - czerwono-czarne, 458
- duże liczby, 56
- dymki, 606
- dynamic binding, 205
- dziedziczenie, 129, 131, 199, 270, 390
 - dostęp chroniony, 220
 - hierarchia, 207
 - interfejs, 280
 - klasy abstrakcyjne, 215
 - klasy finalne, 211
 - metody finalne, 211
 - metody przesłaniające, 201
 - nadklasy, 200
 - Object, 221
 - podklasy, 200
 - polimorfizm, 205, 207
 - porównywanie obiektów, 223
 - przesłanianie metod, 203
 - rzutowanie, 212
 - super, 202
 - typy uogólnione, 412
 - wielokrotne, 282
- dzienniki, 365, 375
 - filtry, 374
 - formatery, 374
 - Handler, 371

konfiguracja menedżera dzienników, 368
 lokalizacja, 370
 poziomy ważności komunikatów, 366
 rotacja plików, 373
 śledzenie przepływu wykonywania, 367
 zaawansowane techniki zapisu, 366
 zapis, 366

E

edycja kodu źródłowego, 47
 EE, 36
 egzemplarz klasy, 129
 element(), 463, 686
 elementy menu, 592
 eliminowanie wywołań funkcji, 27
 elipsa, 519
 Ellipse2D, 517, 519
 Ellipse2D.Double, 522
 else, 96
 Employee.clone(), 401
 EmptyStackException, 360
 ensureCapacity(), 237
 entering(), 379
 enum, 64, 246
 Enum<T>, 247
 Enumerable, 434
 Enumeration, 438, 495
 EnumMap, 444, 473, 475
 EnumSet, 444, 473, 475
 EOFException, 343
 epoka, 135
 equals(), 76, 79, 119–227, 233, 242, 336, 444
 equalsIgnoreCase(), 76, 79
 Error, 339, 340
 ERROR_MESSAGE, 621
 etykiety, 570
 event dispatch thread, 508, 684
 EventObject, 532, 550
 Exception, 339, 340
 exceptionally(), 718
 execute(), 728
 ExecutorCompletionService, 707, 711
 Executors, 704, 705
 ExecutorService, 704, 706, 711
 exit code, 54
 exiting(), 379
 explicit parameter, 148
 exportNode(), 558
 exportSubtree(), 558
 extends, 200, 280
 external padding, 610

F

factory method, 156
 false, 56, 61
 Field, 254, 258, 260, 264, 267
 field accessor, 149
 figury
 2W, 517
 geometryczne, 517
 File, 94
 file chooser, 637
 FileFilter, 636, 641
 FileHandler, 371, 374
 FileInputStream, 341
 FileNameExtensionFilter, 641
 FileNotFoundException, 341, 343
 FileView, 637, 641
 fill(), 119, 491, 523, 524
 Filter, 383
 filtry, 374
 plików, 635
 final, 63, 152, 205, 211
 finalize(), 173
 finally, 350, 351
 fine(), 379
 finer(), 379
 finest(), 379
 First Person, Inc., 30
 first(), 461
 flipDone(), 677
 float, 57, 68
 FloatRectangle2D, 518
 floor(), 462
 flow layout manager, 563
 FlowLayout, 565
 flush(), 381
 FocusEvent, 551
 focusGained(), 552
 FocusListener, 552
 focusLost(), 552
 Font, 525, 529
 Font.BOLD, 525
 Font.ITALIC, 525
 Font.PLAIN, 525
 FontMetrics, 530
 FontRenderContext, 526
 for, 101
 for each, 31, 114
 foreach, 94
 format(), 374, 383
 formater, 374
 formatMessage(), 375, 383
 formatowanie danych wyjściowych, 88

Formattable, 88
Formatter, 374, 383
forName(), 249, 250
Frame, 507, 512
frequency(), 491
funkcje
 czysto wirtualne, 216
 matematyczne, 66
Future, 702, 703, 727
FutureTask, 703

G

garbage collecting, 22
Garbage Collector, 472
GBC, 611
GC, 472
generic class, 391, 392
generic programming, 390
generic types, 31
GenericArrayType, 423, 431
generowanie dokumentacji javadoc, 194
generyczne listy tablicowe, 234
 dostęp do elementów, 237
get(), 237, 264, 442, 453, 467, 500, 554, 557, 703
getActionCommand(), 580
getActionCommands(), 550
getActionMap(), 544
getActualTypeArguments(), 431
getAncestorOfClass(), 634
getAscent(), 530
getAvailableFontFamilyNames(), 524
getBackground(), 524
getBoolean(), 554, 557
getBounds(), 430
getByteArray(), 554, 557
getCause(), 355
getCenter(), 519
getCenterX(), 519, 522
getCenterY(), 519, 522
getClass(), 222, 233, 248, 250, 336
getClassName(), 357
getClickCount(), 549
getColumns(), 570
getComponentPopupMenu(), 598
getConstructor(), 421, 422
getConstructors(), 254, 258
getDay(), 137
getDeclareFields(), 264
getDeclaredConstructor(), 421, 422
getDeclaredConstructors(), 254, 258
getDeclaredField(), 264
getDeclaredFields(), 254, 257, 259, 261
getDeclaredMethods(), 254, 257
getDeclaringClass(), 258
getDefaultToolkit(), 288, 511, 512
getDefaultUncaughtExceptionHandler(), 656
getDelay(), 687, 690
getDescent(), 530
getDescription(), 637, 641
getDouble(), 554, 557
getEnumConstants(), 421
getExceptionTypes(), 258
getFamily(), 529
getField(), 263
getFields(), 254, 257, 263
getFileName(), 357
getFilter(), 381
getFintName(), 529
getFirst(), 454, 463
getFloat(), 554, 557
getFont(), 570
getFontMetrics(), 527, 530
getFontRenderContext(), 526, 527, 530
getForeground(), 524
getFormatter(), 381
getGenericComponentType(), 431
getGenericInterfaces(), 430
getGenericParameterTypes(), 430
getGenericReturnType(), 430
getGenericSuperclass(), 430
getHandlers(), 380
getHead(), 375, 383
getHeight(), 519, 522, 527, 530
getIcon(), 571, 637, 641
getIconImage(), 512
getInheritsPopupMenu(), 598
getInputMap(), 543, 545
getInt(), 554, 557
getKey(), 471
getKeyStroke(), 542–544
getLargestPoolSize(), 706
getLast(), 454, 463
getLeading(), 530
getLength(), 265, 267
getLevel(), 380–382
getLineMetrics(), 527, 529
getLineNumber(), 357
getLogger(), 379
getLoggerName(), 382
getLong(), 554, 557
getLowerBounds(), 430
getMaxX(), 522
getMaxY(), 522
getMessage(), 345, 382
getMethod(), 267, 268
getMethodName(), 357
getMethods(), 254, 257

- getMillis(), 382
 - getMinX(), 522
 - getMinY(), 522
 - getModifiers(), 254, 258
 - getMonth(), 137
 - getName(), 234, 250, 258, 430, 529, 637, 641
 - getOwnerType(), 431
 - getPaint(), 524
 - getParameters(), 382
 - getParameterTypes(), 258
 - getParent(), 380
 - getPassword(), 572
 - getPath(), 636
 - getPoint(), 549
 - getPredefinedCursor(), 546
 - getProperty(), 499
 - getProxyClass(), 336
 - getRawType(), 431
 - getResourceBundle(), 382
 - getResourceBundleName(), 382
 - getReturnType(), 258
 - getRootPane(), 630, 634
 - getScreenSize(), 511, 512
 - getSelectedFile(), 636, 640
 - getSelectedFiles(), 636, 640
 - getSelectedItem(), 585, 586
 - getSelectedObjects(), 579
 - getSelection(), 579, 580
 - getSequenceNumber(), 382
 - getSource(), 550
 - getSourceClassName(), 382
 - getSourceMethodName(), 382
 - getStackTrace(), 354, 356
 - getState(), 651, 728
 - getStringBounds(), 526–529
 - getSuperClass(), 234, 422
 - getTail(), 375, 383
 - getText(), 568, 569
 - getThreadID(), 382
 - getThrown(), 382
 - getTime(), 212
 - getTitle(), 510, 512
 - getTotalBalance(), 664
 - getTypeDescription(), 637, 641
 - getTypeParameters(), 430
 - getUncaughtExceptionHandler(), 656
 - getUpperBounds(), 430
 - getUseParentHandlers(), 380
 - getValue(), 471, 540, 544
 - getWidth(), 517–522, 527
 - getX(), 522, 549
 - getY(), 522, 527, 549
 - getYear(), 137
 - glass pane, 513
 - głęboka kopia, 291
 - goto, 107
 - GPL, 33
 - grafika, 505
 - czcionki, 524
 - kolory, 523
 - obrazy, 530
 - Graphics, 513, 514, 530
 - Graphics2D, 517, 524, 526, 527, 530
 - GraphicsEnvironment, 524
 - Green, 29
 - GregorianCalendar, 138, 140
 - GridBagConstraints, 608–611, 615
 - GridBagConstraints.BOTH, 610
 - GridBagConstraints.CENTER, 610
 - GridBagConstraints.EAST, 610
 - GridBagConstraints.HORIZONTAL, 610
 - GridBagConstraints.NORTH, 610
 - GridBagConstraints.NORTHEAST, 610
 - GridBagConstraints.RELATIVE, 610
 - GridBagConstraints.REMAINDER, 610
 - GridBagConstraints.VERTICAL, 610
 - GridLayout, 607, 617
 - anchor, 610, 616
 - bottom, 610
 - dopełnienie, 610
 - dopełnienie wewnętrzne, 610
 - dopełnienie zewnętrzne, 610
 - fill, 610
 - GBC, 611
 - GridBagConstraints, 611
 - gridheight, 609, 610
 - gridwidth, 609, 610
 - gridx, 609, 610
 - gridy, 609, 610
 - ipadx, 610
 - ipady, 610
 - klasa pomocnicza, 611
 - left, 610
 - ograniczenia, 609
 - right, 610
 - top, 610
 - weight, 609
 - GridLayout, 567, 568
 - group layout manager, 607
 - grupy przycisków radiowych, 577
 - GUI, 30
- ## H
- handle(), 718
 - Handler, 371, 373, 381
 - parametry konfiguracyjne, 372
 - hash code, 226, 455

- hash table, 227, 588
 - hashCode(), 226, 228, 336, 455, 458
 - HashMap, 444, 465, 468, 700
 - HashSet, 438, 444, 454, 456
 - dodawanie elementów, 459
 - iterator, 456
 - Hashtable, 434, 495, 700
 - hasMoreElements(), 438, 496
 - hasNext(), 87, 437, 438, 442, 449
 - hasNextDouble(), 87
 - hasNextInt(), 87
 - hasPrevious(), 448, 453
 - headMap(), 484
 - headSet(), 484
 - heap, 116, 464
 - Helvetica, 524
 - hermetyzacja, 129, 149
 - hierarchia
 - dziedziczenia, 207
 - interfejsów, 280
 - wyjątków, 339, 359
 - zdarzeń w bibliotece AWT, 550
 - higher(), 462
 - historia Javy, 29
 - HTML, 32
- I**
- identityHashCode(), 476
 - IdentityHashMap, 444, 474, 475
 - identyfikacja klas, 130
 - IEEE 754, 58
 - if, 95
 - else, 96
 - IFC, 506
 - ikony w elementach menu, 595
 - IllegalAccessException, 259
 - IllegalArgumentException, 361
 - IllegalStateException, 439
 - immutable class, 153
 - implementacja interfejsu, 273, 275
 - implements, 275
 - implicit parameter, 148
 - import, 87, 175
 - klas, 175
 - static, 176
 - importPreferences(), 558
 - indexOf(), 80, 166, 453
 - indexOfSubList(), 491
 - info(), 379
 - informacje
 - o typach czasu wykonywania, 248
 - o typach generycznych w maszynie wirtualnej, 422
 - INFORMATION_MESSAGE, 621
 - inheritance, 199
 - chain, 207
 - hierachy, 207
 - inicjalizacja
 - pól, 167
 - pól wartościami domyślnymi, 166
 - zmiennych, 62
 - initCause(), 355
 - inkrementacja, 70
 - inline method, 149
 - inlining, 27, 212
 - inner class, 273, 312
 - input
 - dialog, 621
 - maps, 542
 - insert(), 85, 594
 - insertItemAt(), 584, 586
 - insertSeparator(), 594
 - instalacja Java Development Kit, 35, 37
 - instanceof, 214, 292
 - instrukcja try, 352
 - instrukcje
 - sterujące, 94
 - warunkowe, 95
 - int, 56, 57
 - Integer, 243, 244
 - Integer.parseInt(), 243
 - interface, 273, 274
 - interfejs, 219, 267, 273
 - Action, 540, 593
 - ActionListener, 286, 532, 540
 - ButtonModel, 562
 - Callable, 702
 - ChangeListener, 587
 - Cloneable, 292
 - Collection, 436, 440, 442, 450
 - Comparable, 274, 396
 - Comparator, 289, 311
 - Condition, 670
 - definicja, 274
 - dziedziczenie, 280
 - Enumerable, 434
 - Enumeration, 495
 - ExecutorService, 704
 - funkcyjny, 299, 309
 - Future, 702, 727
 - hierarchia, 280
 - implementacja, 273, 275
 - InvocationHandler, 331
 - Iterable, 114, 437
 - klasy abstrakcyjne, 281
 - LayoutManager, 616
 - ListIterator, 447

Lock, 670
 Map, 442
 MenuListener, 600
 metody, 280
 MouseListener, 546, 547
 MouseMotionListener, 546
 nasłuchu, 532
 NavigableSet, 459
 ProcessHandle, 731
 programowania aplikacji, 13
 Queue, 434
 RandomAccess, 443
 ScheduledExecutorService, 705
 Set, 444
 Shape, 517
 sprzężenie zwrotne, 286
 użytkownika, 505
 komponenty Swing, 559
 własności, 280
 wywołania zwrotne, 722
 WindowListener, 538
 zmienne, 280
 znacznikowy, 292
 interlinia, 526
 internal padding, 610
 internet, 28
 Internet Foundation Classes, 506
 interpreter, 26
 interrupt(), 652, 654
 interrupted state, 652
 interrupted(), 653, 654
 InterruptedException, 652, 653, 702
 IntHolder, 244
 intValue(), 244
 InvocationHandler, 331, 336
 invoke(), 267, 270, 336
 invokeAll(), 711
 invokeAny(), 707
 IOException, 343, 346
 isAbstract(), 258
 isAccessible(), 263
 isCancelled(), 703, 705
 isDefaultButton(), 634
 isDone(), 677, 702–705
 isEditable(), 568, 586
 isEmpty(), 441
 isEnabled(), 540, 544
 isFinal(), 254, 258
 isInterface(), 258
 isInterrupted(), 652–654
 isLoggable(), 374, 383
 isNaN(), 58
 isNative(), 259
 isNativeMethod(), 357
 ISO 8859-1, 60

ISO-8859-2, 60
 isPopupTrigger(), 598
 isPrivate(), 254, 259
 isProtected(), 259
 isProxyClass(), 336
 isPublic(), 254, 259
 isResizable(), 512
 isSelected(), 577, 578, 596
 isStatic(), 259
 isStrict(), 259
 isSynchronized(), 259
 isTraversable(), 637, 641
 isVisible(), 511
 isVolatile(), 259
 ItemEvent, 551
 ItemListener, 551
 ItemSelectable, 579
 itemStateChanged(), 551
 Iterable, 114, 437
 Iterator, 438
 iterator(), 437, 440, 441
 Iterator<E>, 442
 iteratory, 437

J

J2, 36
 jar, 184
 opcje, 185
 JAR, 181, 184
 java, 41, 53
 Java, 13, 21
 Java 1.0, 30
 Java 1.1, 30
 Java 1.2, 30
 Java 1.3, 31
 Java 1.4, 31
 Java 2, 36
 Java 5.0, 32
 Java 6, 32
 Java Archive, 184
 Java Community Process, 33
 Java Development Kit, 13, 35, 36
 Java EE, 36
 Java ME, 36
 Java Project, 45
 Java Runtime Environment, 36
 Java SDK, 36
 Java Standard Edition 7, 13, 37
 java.lang.reflect, 254, 423
 java.util.concurrent, 650, 662, 687
 java.util.EventObject, 532
 java.util.logging.config.file, 368
 java.util.logging.LogManager, 369

- java.util.logging.manager, 369
- Java2D, 517
 - elipsa, 519
 - Ellipse2D, 517, 519
 - figury geometryczne, 517
 - Line2D, 517
 - Rectangle2D, 517, 519
 - rysowanie figur, 520
 - Shape, 517
 - współrzędne, 518
- javac, 41, 144
- javadoc, 189, 194
 - generowanie dokumentacji, 194
 - komentarze
 - do klas, 190
 - do metod, 191
 - do pakietów, 193
 - do pól, 192
 - ogólne, 192
 - streszczenie, 190
 - wstawianie komentarzy, 190
 - znaczniki dokumentacyjne, 190
- javap, 661
- JavaScript, 34
- javax.swing, 286, 508
- jawna inicjalizacja pól, 167
- JButton, 533, 534, 536, 541, 563
- JCheckBox, 576, 577
- JCheckBoxMenuItem, 596
- JComboBox, 494, 583, 586
- JComponent, 513, 527, 542, 563, 570, 583, 606
- JDialog, 625, 628
- JDK, 25, 35, 36
- jednostki kodowe, 60, 77
- jest, 131, 271
- język
 - C++, 23
 - HTML, 32
 - interpretowany, 33
 - J++, 28
 - Java, 13, 21
 - JavaScript, 34
 - programowania, 21, 31, 33
 - UML, 132
- JFileChooser, 634, 639
- JFileChooser.APPROVE_OPTION, 636
- JFileChooser.CANCEL_OPTION, 636
- JFileChooser.DIRECTORIES_ONLY, 636
- JFileChooser.ERROR_OPTION, 636
- JFileChooser.FILES_AND_DIRECTORIES, 636
- JFileChooser.FILES_ONLY, 636
- JFrame, 507, 509
- JLabel, 570
- JMenu, 593, 594
 - JMenu.remove(), 600
- JMenuBar, 592
- JMenuItem, 595, 598
- join(), 651
- JOptionPane, 288, 621, 623, 625, 630
- JPanel, 566
- JPasswordField, 571
- JPopupMenu, 597
- JRadioButton, 578, 580
- JRadioButtonMenuItem, 596
- JRE, 36
- JScrollPane, 573, 575
- JShell, 48
- JSlider, 586
- JTextArea, 568, 572, 574
- JTextComponent, 568, 569
- JTextField, 568, 570
- JToolBar, 606
- JUnit, 384
- just-in-time compilation, 25
- JVM, 186

K

- kalendarz, 136
- catalog bazowy drzewa pakietu, 181
- keyboard focus, 542
- KeyEvent, 551
- KeyListener, 552
- keyPressed(), 552
- keyReleased(), 552
- keys(), 557
- KeyStroke, 542, 544, 599
- keyTyped(), 552
- klasy, 52, 54, 129
 - abstrakcyjne, 215, 281
 - interfejs, 281
 - zmienne obiektowe, 217
 - AccessibleObject, 263
 - adaptacyjne, 538
 - agregacja, 131
 - anonimowe, 321
 - ArrayList, 445
 - AWTEvent, 550
 - bazowe, 200
 - BigDecimal, 110, 112
 - BigInteger, 110, 111
 - BitSet, 500, 501
 - BorderFactory, 582
 - BorderLayout, 566
 - Class, 248, 263
 - Class<T>, 421
 - Collections, 478, 490
 - Color, 523

- CompletableFuture, 714
- Component, 511
- ConcurrentHashMap, 692
- Constructor, 254
- CopyOnWriteArrayList, 699
- CopyOnWriteArraySet, 699
- Cursor, 546
- Date, 137
- definiowanie, 141
- Deque, 462
- diagramy, 132
- dziedziczenie, 129, 131, 200
- egzemplarz, 129
- Ellipse2D.Double, 522
- EnumMap, 473
- EnumSet, 473
- Error, 340
- EventObject, 550
- Exception, 340
- Executors, 704
- Field, 254, 264
- FileFilter, 636
- finalne, 211
- FlowLayout, 565
- Font, 525, 529
- FontMetrics, 530
- FontRenderContext, 526
- GBC, 611
- generyczne, 234
- Graphics2D, 517, 530
- GraphicsEnvironment, 524
- GregorianCalendar, 140
- GridBagConstraints, 609
- GridLayout, 567
- HashSet, 454, 456
- Hashtable, 495
- IdentityHashMap, 474
- identyfikacja, 130
- implementacja interfejsu, 273
- JButton, 534, 563
- JComponent, 530
- JFrame, 507, 509
- JPanel, 566
- KeyStroke, 542
- komentarze, 190
- konstruktory, 133, 145
- Line2D.Double, 523
- LineMetrics, 530
- LinkedBlockingDeque, 687
- LinkedBlockingQueue, 687
- LinkedHashMap, 472
- LinkedHashSet, 472
- Lock, 662, 664, 669
- LocalDate, 135
- macierzyste, 200
- Math, 66
- Method, 254
- metody, 129
- metody prywatne, 152
- metody statyczne, 155
- nadklasy, 200
- nazwy, 52
- Object, 129, 221
- parametryzowane, 391
- plik źródłowy, 183
- pochodne, 200
- podklasy, 200
- Point2D.Double, 522
- pola statyczne, 153
- pośredniczące, 331
- potomne, 200
- predefiniowane, 132
- PrintWriter, 92
- PriorityQueue, 465
- Process, 728
- ProcessBuilder, 728
- projektowanie, 195
- Properties, 497
- Proxy, 335
 - invocation handler, 331
 - ładowanie klas, 331
- publiczne, 175
- Queue, 462
- Rectangle2D.Double, 522
- RectangularShape, 519, 522
- ReentrantLock, 664
- relacje między klasami, 131
- rozszerzanie, 129
- Scanner, 86, 87
- Stack, 500
- stałe, 64
- stałe pola, 152
- String, 73, 78, 79
- StringBuilder, 84
- Throwable, 339, 345
- Timer, 286
- Toolkit, 511
- TreeSet, 458
- uogólnione, 391, 392
 - definicja, 392
 - tworzenie egzemplarza, 393
- WeakHashMap, 471
- wewnętrzne, 273, 312
 - anonimowe klasy, 321
 - bezpieczeństwo, 319
 - dostęp do stanu obiektu, 313
 - dostęp do zmiennych finalnych z metod zewnętrznymi, 320

- klasy
 - wewnętrzne
 - metody, 312
 - referencja do klasy zewnętrznej, 316
 - referencja do obiektu zewnętrznego, 313
 - reguły składniowe, 316
 - składnia, 313
 - styczne klasy, 325
 - this, 316
 - zastosowanie, 317
 - wyliczeniowe, 246
 - zagnieżdżone, 312
 - zależność, 131
- klasyfikacja wyjątków, 339
- klawiatura, 542
- klawisze, 542
- kliknięcie przycisku, 533
- klonowanie obiektów, 290
- kod
 - bajtowy, 27
 - mieszający, 226, 455
 - uogólniony, 398
 - wyjścia, 54
 - źródłowy, 52
- kodowanie
 - Unicode, 60
 - UTF-16, 60
- kolejka, 434, 462, 692
 - blokująca, 685
 - LinkedBlockingDeque, 687
 - LinkedBlockingQueue, 687
 - metody, 686
 - PriorityBlockingQueue, 687
 - dwukierunkowa, 462
 - priorytetowa, 464
- kolekcje, 433
 - algorytmy, 485
 - ArrayDeque, 444
 - ArrayList, 444, 700
 - BitSet, 500, 501
 - Collection, 442
 - ConcurrentHashMap, 692
 - ConcurrentLinkedQueue, 692
 - ConcurrentSkipListMap, 692
 - ConcurrentSkipListSet, 692
 - CopyOnWriteArrayList, 699
 - CopyOnWriteArraySet, 699
 - Deque, 462
 - dostęp swobodny, 443
 - Enumeration, 495
 - EnumMap, 444, 473
 - EnumSet, 444, 473
 - HashMap, 444, 465, 700
 - HashSet, 438, 444, 454, 456
 - Hashtable, 495, 700
 - IdentityHashMap, 444, 474
 - interfejsy, 434
 - klasy, 445
 - kolejka, 462
 - kolejka priorytetowa, 464
 - kolejność odwiedzania elementów, 438
 - konwersja pomiędzy kolekcjami a tablicami, 493
 - LinkedHashMap, 444, 472
 - LinkedHashSet, 444, 472
 - LinkedList, 444
 - List, 454
 - listy
 - cykliczne, 436
 - powiązane, 445
 - tablicowe, 454
 - Map, 442
 - mapy, 465
 - mapy własności, 496
 - NavigableMap, 444
 - NavigableSet, 444
 - obiekty opakowujące, 476
 - ograniczone, 436
 - operacje
 - opcjonalne, 481
 - zbiorcze, 492
 - PriorityQueue, 444, 465
 - Properties, 497
 - Queue, 434, 462
 - słabo spójne iteratory, 692
 - SortedMap, 444
 - SortedSet, 444
 - sortowanie, 486
 - Stack, 500
 - starsze kolekcje bezpieczne wątkowo, 700
 - stos, 500
 - tablice kopiowane przy zapisie, 699
 - tasowanie, 486
 - TreeMap, 444, 465
 - TreeSet, 444, 458
 - uporządkowane, 442, 447
 - Vector, 700
 - warstwa interfejsów, 434
 - warstwa klas konkretnych, 434
 - WeakHashMap, 444, 471
 - widoki
 - kontrolowane, 480
 - niemodyfikowalne, 478
 - przedziałowe, 478
 - synchronizowane, 480
 - wyliczenia, 495
 - wyszukiwanie binarne, 489
 - zbiory bitów, 500
- kolizja, 455
- nazw, 174

- kolory, 523
 - Color, 523
 - definiowanie, 523
 - tło, 523
 - komentarze, 55
 - dokumentacyjne, 189
 - komórki, 455
 - komparatory, 311
 - kompilacja w czasie rzeczywistym, 25
 - kompilator, 41
 - komponenty, 514, 559, 564
 - dymki, 606
 - etykiety, 570
 - JButton, 563
 - JCheckBox, 576
 - JCheckBoxMenuItem, 596
 - JComboBox, 583
 - JFileChooser, 634
 - JLabel, 570
 - JMenuBar, 592
 - JMenuItem, 598
 - JOptionPane, 621
 - JPasswordField, 571
 - JPopupMenu, 597
 - JRadioButton, 578
 - JRadioButtonMenuItem, 596
 - JScrollPane, 573
 - JSlider, 586
 - JTextArea, 568, 572
 - JTextField, 568
 - listy rozwijalne, 583
 - menu, 592
 - menu podręczne, 597
 - obszary tekstowe, 572
 - panele przewijane, 573
 - paski narzędzi, 604
 - pola
 - hasel, 571
 - tekstowe, 568
 - wyboru, 575
 - przełączniki, 577
 - suwaki, 586
 - wybór opcji, 575
 - zarządzanie rozkładem, 563
 - komputer wieloprocesorowy, 676
 - komunikaty o błędach, 47
 - konfiguracja
 - menedżera dzienników, 368
 - projektu, 46
 - konkatenacja, 74
 - konstruktory, 133, 145
 - domyślny, 166
 - podklas, 203
 - przeciążanie, 167
 - wirtualne, 250
 - kontener, 564
 - kontrola grup zadań, 707
 - kontroler, 560
 - konwersja
 - łańcucha na liczbę, 243
 - między kolekcjami a tablicami, 493
 - typów numerycznych, 68
 - kończenie działania programu, 54
 - kopiowanie
 - głębokie, 291
 - obiektów, 290
 - plytkie, 291
 - tablicy, 115
 - kowariantne typy zwracane, 210, 401
 - kółko myszy, 551
 - kubelki, 455
 - kursory, 546
- ## L
- lambda, 296
 - last(), 461
 - lastIndexOf(), 80, 453
 - lastIndexOfSubList(), 491
 - layered pane, 513
 - layoutContainer(), 616, 620
 - LayoutManager, 616, 620
 - LayoutManager2, 617
 - leading, 526
 - length(), 77, 80, 84, 114, 501
 - licencja GPL, 33
 - liczby
 - całkowite, 26, 56
 - zmiennoprzecinkowe, 57
 - Line2D, 517
 - Line2D.Double, 523
 - LineBorder, 581, 583
 - LineMetrics, 527, 530
 - linia
 - bazowa, 526
 - dolna pisma, 526
 - górną pisma, 526
 - linked list, 446
 - LinkedBlockingDeque, 687, 690
 - LinkedBlockingQueue, 687
 - LinkedHashMap, 444, 472–475
 - LinkedHashSet, 444, 472, 474
 - LinkedList, 436, 444, 447, 450, 454
 - add(), 447
 - LinkedList<E>, 454
 - List, 454, 489
 - List<E>, 452
 - listener
 - interface, 532
 - object, 287

ListIterator, 447, 450
 listIterator(), 452
 ListIterator<E>, 453
 listy
 cykliczne, 436
 dwukierunkowe, 446
 powiązane, 436, 445, 446
 dodawanie elementów, 447, 448
 ListIterator, 447
 metody get i set, 451
 ogniwa, 446
 usuwanie elementów, 446
 rozwijalne, 583
 tablicowe, 240, 454
 load factor, 456
 load(), 499
 Lock, 662, 664, 669–672
 lock(), 664
 log(), 380
 Logger, 379
 Logger.global.info(), 366
 Logger.global.setLevel(), 366
 logging proxy, 384
 logic_error, 340
 logiczne nazwy czcionek, 525
 logp(), 367, 380
 lokalizacja, 370
 lokalne klasy wewnętrzne, 319
 long, 56
 long int, 26
 LONG_DESCRIPTION, 540
 lower(), 462

L

ładowanie
 klas, 331
 usług, 328
 łańcuchy, 73
 długość, 77
 dziedziczenia, 207
 identyczność, 76
 jednostki kodowe, 77
 konkatenacja, 74
 niezmienialność, 74
 null, 77
 podłańcuchy, 73
 porównywanie, 76
 puste, 77
 składanie, 84
 String, 74, 78
 StringBuilder, 84
 współdzielenie, 75
 współrzędne kodowe znaków, 77
 wyjątków, 348

M

main(), 52, 53, 156
 manifest, 184
 Map, 442, 467
 mapa, 465
 akcji, 543
 wejścia, 542
 własności, 496
 marker interface, 292
 Math, 66, 67, 154
 Math.PI, 154
 Math.round(), 69
 Math.sqrt(), 268, 361
 max(), 490
 MAX_PRIORITY, 657
 ME, 36
 mechanizm ładowania klas, 331
 menu, 592
 akceleratorzy, 598, 599
 akcje, 593
 aktywowanie elementów, 600
 dezaktywowanie elementów, 600
 elementy, 592, 593
 ikony w elementach, 595
 mnemoniki, 598
 pasek, 592
 podmenu, 592
 podręczne, 597
 obsługa, 597
 tworzenie, 597
 pola wyboru, 596
 przełączniki, 596
 separatory, 593
 skrótów klawiszowe, 599
 tworzenie, 592
 menuCanceled(), 600, 601
 menuDeselected(), 600, 601
 MenuListener, 600
 menuSelected(), 600, 601
 metadane, 31
 Method, 254, 258, 260, 267, 270, 430
 metoda rozgałęzienie-złączenie, 711
 metody, 53, 129
 abstrakcyjne, 215
 ciało, 54
 domyślne, 283
 dostęp do pól, 149
 fabrykujące, 156
 finalne, 211
 komentarze, 191
 parametry, 54, 159
 parametryzowane, 395
 pomostowe, 401

prywatne, 152
 przeciążanie, 165
 rodzime, 155
 statyczne, 66, 155
 sygnatura, 166, 210
 synchronized, 670
 udostępniające, 137
 uogólnione, 394

- typ w wywołaniu, 395
- wnioskowanie o typie, 395

 wstawiane, 149
 wyjątki, 341
 zmieniające wartość elementu, 137
 zmienna liczba parametrów, 244
 min(), 52, 53, 156, 490
 MIN_PRIORITY, 657
 minimumLayoutSize(), 616, 620
 MNEMONIC_KEY, 540
 mnemoniki, 598
 mod(), 111
 modal dialog box, 620
 modalne okna dialogowe, 620
 modalność, 626
 model, 560, 561
 modeless dialog box, 620
 Modifier, 258
 Modifier.toString(), 254
 moduł ładujący klasy, 362
 modyfikacja parametru obiektowego, 161
 modyfikatory dostępu, 52, 220
 monitor, 675
 mouseClicked(), 545, 552
 mouseDragged(), 546, 552
 mouseEntered(), 547, 552
 MouseEvent, 549, 551, 598
 mouseExited(), 547, 552
 MouseHandler, 547
 MouseListener, 546, 547, 552
 MouseMotionHandler, 547
 MouseMotionListener, 546, 547, 552
 mouseMoved(), 546, 552
 mousePressed(), 545, 552
 mouseReleased(), 545, 552
 MouseWheelEvent, 551
 MouseWheelListener, 552
 mouseWheelMoved, 552
 multiple inheritance, 282
 multiply(), 110, 111, 112
 multithreaded, 643
 mutable class, 153
 MVC, Model-View-Controller, 560
 mysz, 545, 551

- kursory, 546

N

naciśnięcie klawisza, 551
 nadklasy, 200
 nadtypy typów wieloznacznych, 415
 NAME, 540
 NaN, 58, 65
 narzędzia wiersza poleceń, 40
 NavigableMap, 444, 484
 NavigableSet, 444, 459, 462, 484
 nawiasy, 72

- klamrowe, 53

 nazwy, 52

- klas, 52, 196
- metod, 196
- parametrów, 168
- rodziny czcionek, 524
- zmiennych, 62

 nCopies(), 483
 NetBeans, 36
 new, 85, 112, 133, 649
 New Project, 45
 New Project w Eclipse, 45
 newCachedThreadPool(), 704, 705
 newCondition(), 669
 newFixedThreadPool(), 704, 705
 newInstance(), 250, 264, 267, 421, 422
 newProxyInstance(), 331, 336
 newScheduledThreadPool(), 704, 705
 newSingleThreadExecutor(), 704, 706
 newSingleThreadScheduledExecutor(), 704, 705
 next(), 85, 437–439, 442
 nextDouble(), 86, 87
 nextElement(), 438, 496
 nextIndex(), 451, 453
 nextInt(), 86, 87, 173
 nextLine(), 85, 87
 niemodalne okna dialogowe, 620
 niemodyfikowalne widoki, 478
 nierówność, 70
 nieskończoność, 58
 niestandardowi zarządcy rozkładu, 616
 niezależność od architektury, 25
 niezawodność, 24
 niszczenie obiektów, 173
 NO_OPTION, 622
 node(), 557
 noneOf(), 475
 NORM_PRIORITY, 657
 NoSuchElementException, 442, 453, 485
 notacja wielbłądzia, 52
 notify(), 670, 673, 675
 notifyAll(), 670–675
 null, 166

NullPointerException, 340, 360, 363
NumberFormat, 244
NumberFormatException, 359

O

obiekt CompletableFuture, 716
obiekt zdarzeń, 532
obiektowość, 23
obiekty, 56, 129

- autoboxing, 241
- Handler, 371
- hermetyzacja, 129
- klonowanie, 290
- konstruktory, 133
- kopiowanie, 290
- metody, 129
 - prywatne, 152
 - udostępniające, 137
 - zmieniające wartość elementu, 137
- nasłuchujące, 287
- niszczenie, 173
- opakowujące, 476
- polimorfizm, 205
- porównywanie, 221
- pośredniczące, 331
- składowe, 129, 150
- stan, 129
- tożsamość, 129
- tworzenie, 133, 165
- warunków, 665
- właściwości, 129
- zachowanie, 129

Object, 129, 221, 228, 458, 673
Object Oriented Programming, 128
Object.clone(), 293, 401
Object[], 368
obliczenia, 65

- asynchroniczne, 714

obramowanie, 581
obrazy, 530

- wyświetlanie, 530

obsługa

- wyjątków, 249, 337, 358
- zdarzeń, 287, 551, 552
 - ActionEvent, 532, 551
 - ActionListener, 540
 - actionPerformed(), 532
 - AdjustmentEvent, 551
 - akcje, 539
 - AWTEvent, 550
 - EventObject, 532, 550
 - FocusEvent, 551
 - hierarchia zdarzeń w bibliotece AWT, 550
 - interfejs nasłuchu, 532
 - ItemEvent, 551
 - KeyEvent, 551
 - klasy adaptacyjne, 538
 - kliknięcie przycisku, 533
 - MouseEvent, 551
 - MouseMotionListener, 546
 - MouseWheelEvent, 551
 - mysz, 545
 - obiekt zdarzeń, 532
 - WindowEvent, 532, 551

obszar surogatów, 60
obszary tekstowe, 572
odbieranie danych wejściowych, 85
odczyt danych, 85

- z pliku, 92

odmierzanie czasu, 286
odpakowywanie, 242
odradzane metody, 137
of(), 475
off-by-one error, 485
offer(), 462, 686, 691
offerFirst(), 463, 691
offerLast(), 463, 691
offsetByCodePoints(), 77, 79
ogniwa, 446
ograniczenia zmiennych typowych, 396
OK_CANCEL_OPTION, 622, 623
OK_OPTION, 622
okna, 538
okna dialogowe, 620

- akcesorium, 638
- dane wejściowe, 621
- JFileChooser, 634
- JOptionPane, 621
- klawisz wyzwolenia, 630
- komunikaty, 621
- modalne, 620, 626
- niemodalne, 620
- opcje, 621
- panel główny, 630
- potwierdzenia, 622
- przycisk domyślny, 630
- przyciski, 622
- ramka nadrzędna, 626
- tworzenie, 625
- wybór plików, 634
- wymiana danych, 629
- wyświetlanie, 630

OOP, 128
opakowywanie, 242
operacje

- masowe, 696
- opcjonalne, 481
- zbiorcze, 492

operatory, 65
 arytmetyczne, 65
 binarne operatory arytmetyczne, 69
 bitowe, 71
 dekrementacja, 70
 inkrementacja, 70
 instanceof, 214, 280
 logiczne, 70
 new, 85, 133
 priorytety, 72
 przesunięcie bitowe, 71
 przyrostkowe, 70
 relacyjne, 70
 skrącanie, 69
 trójargumentowy, 71
 opisanie prostokąta, 519
 opóźnione wykonywanie procedur, 308
 optional operations, 481
 or(), 501
 ordinal(), 247
 org.omg.CORBA, 244
 orTimeout(), 718
 osłona obiektów, 241
 overloading resolution, 166

P

package, 177, 180
 packages, 174
 paintComponent(), 342, 347, 513–517, 527, 622, 685
 PaintEvent, 550
 pakiet JDK, 36
 pakiety, 174
 dodawanie klasy, 177
 import klas, 175
 komentarze, 193
 lokalizacyjne, 370
 panel przewijany, 573
 ParametrizedType, 423, 431
 parametry, 54, 159, 244
 jawne, 148
 nazwy, 168
 niejawne, 148
 typowe, 390
 wiersza poleceń, 116
 parent class, 200
 parse(), 244
 parseInt(), 243, 244
 pasek menu, 592
 paski narzędzi, 604
 PasswordChooser, 629, 630
 peek(), 463, 500, 686
 peekFirst(), 463
 peekLast(), 463

pętle, 98
 break, 107
 continue, 109
 do while, 100
 for, 101
 for each, 114
 liczba iteracji, 101
 natychmiastowe przejście do nagłówka, 109
 przerywanie działania, 107
 while, 98, 100
 pierwszy program, 52
 PLAIN_MESSAGE, 621
 platforma programistyczna, 21
 pliki
 JAR, 181, 184
 manifest, 184
 sekcja główna, 184
 wykonywalne pliki, 186
 zmiana zawartości pliku manifestu, 185
 java, 52
 kod źródłowy, 52
 odczyt, 92
 tekstowe, 93
 zapis, 92
 źródłowe, 39
 płytka kopia, 291
 pobieranie
 danych, 85
 danych wejściowych, 85
 pakietu JDK, 36
 podklasy, 200
 podłańcuchy, 73
 podmenu, 592
 Point, 519
 Point2D, 519
 Point2D.Double, 519, 522
 Point2D.Float, 519
 pola
 hasel, 571
 klasowe, 154
 kombi, 583
 statyczne, 153
 tekstowe, 568
 ulotne, 676
 wyboru, 575
 polimorfizm, 205, 207, 272
 poll(), 462, 686, 691, 711
 pollFirst(), 462, 463, 691
 pollLast(), 462, 463, 691
 pop(), 500
 pop-up menu, 597
 pop-up trigger, 597
 porównywanie
 łańcuchów, 76
 obiektów, 221

- pow(), 66
- powiadamanie o zdarzeniach, 533
- powiązana tablica mieszająca, 472
- powiązania między klasami, 131
- powtórne generowanie wyjątków, 348
- pozycjonowanie ramki, 509
- Preferences, 553, 557
- Preferences.systemNodeForPackage(), 553
- Preferences.systemRoot(), 553
- Preferences.userNodeForPackage(), 553
- Preferences.userRoot(), 553
- preferencje użytkownika
 - API Preferences, 552
- preferredLayoutSize(), 616, 620
- previous(), 448, 451, 453
- previousIndex(), 451, 453
- print(), 55, 88
- printf(), 244
 - znaki konwersji, 89
- println(), 66, 335
- printStackTrace(), 251, 385
- PrintStream, 230
- PrintWriter, 92, 94
- PriorityBlockingQueue, 687, 690
- PriorityQueue, 444, 465
- priorytety
 - operatorów, 72
 - wątków, 657
- private, 145, 152, 180, 220
- procedura obsługi błędów, 339
- procedura obsługi nieprzechwyconych wyjątków, 655
- proces, 728
 - budowanie, 729
 - uchwyt, 731
 - uruchamianie, 730
- process(), 727, 728
- ProcessBuilder, 728
- procesy, 643
- programowanie generyczne, *Patrz* programowanie uogólnione
 - proceduralne, 128
 - uogólnione, 390
 - dziedziczenie, 412
 - egzemplarze zmiennych typowych, 406
 - klasy uogólnione, 391, 392
 - konflikty, 411
 - maszyna wirtualna, 398
 - metody uogólnione, 394
 - ograniczenia, 403
 - parametry typowe, 390
 - refleksja, 421
 - sprawdzanie typów w czasie działania programu, 403
 - statyczny kontekst klas uogólnionych, 408
 - tablice typów uogólnionych, 404
 - translacja metod uogólnionych, 400
 - translacja wyrażeń generycznych, 399
 - typy proste jako parametry typowe, 403
 - typy surowe, 398
 - typy wieloznaczne, 414
 - wyjątki, 409
 - zastosowanie, 391
 - zachowawcze, 360
 - zorientowane obiektowo, 24, 128
- programy
 - refleksyjne, 248
 - wielowątkowe, 643
- projektowanie klas, 195
- Properties, 497
- property map, 496
- PropertyChangeListener, 639
- prostokąt, 518, 519
- protected, 190, 220
- Proxy, 331, 335, 336
- prywatne pola, 150
- przechwytywanie
 - wielu typów wyjątków, 347
 - wyjątków, 251, 345
- przeciążanie, 165
 - konstruktorów, 167
- przekazywanie
 - przez wartość, 163
 - wyjątków, 360
- przełączniki, 577
 - powiadamanie o zdarzeniach, 578
- przenośność, 26
- przepelnienie stosu, 24
- przepływ sterowania, 94
- przerywanie
 - działania pętli, 107
 - przepływu sterowania, 107
 - wątków, 652
- przesłanianie metod, 201
- przestrzeń numeracyjna, 60
- przesunięcie bitowe, 71
- przetwarzanie danych wejściowych, 86
- przyciski, 533
- przywileje klasowe, 151
- public, 52, 53, 145, 180, 220
- publiczne
 - metody akcesora, 150
 - metody mutatora, 150
 - pola danych, 150
- publish(), 381, 728
- puchnięcie kodu szablonów, 399
- pule wątków
 - kontrola grup zadań, 707
 - tworzenie, 704

push(), 500
 put(), 442, 467, 554, 557, 686, 691
 putAll(), 467
 putBoolean(), 558
 putByteArray(), 558
 putDouble(), 558
 putFirst(), 691
 putFloat(), 558
 putInt(), 554, 557
 putLast(), 691
 putLong(), 558
 putValue(), 540, 544, 595, 606

Q

QUESTION_MESSAGE, 621
 queue, 434
 Queue, 434, 462
 quick sort, 117, 487

R

race condition, 658
 radio button, 559, 575
 ragged arrays, 123
 ramki, 507
 pozycjonowanie, 509
 warstwy, 513
 wyświetlanie, 509
 Random, 173
 RandomAccess, 443
 range(), 475
 readLine(), 87
 readPassword(), 87
 Rectangle, 519
 Rectangle2D, 517, 519
 Rectangle2D.Double, 518, 522
 Rectangle2D.Float, 518
 RectangularShape, 519, 522
 ReentrantLock, 662, 664
 referencja
 do konstruktorów, 305
 do metod, 301, 303
 do obiektu, 134
 referencje null, 147
 reflection, 199
 refleksja, 199, 248, 272
 analiza
 funkcjonalności klasy, 254
 obiektów w czasie działania programu, 259
 Class, 248
 Constructor, 254
 Field, 254, 267

 generyczny kod tablicowy, 264
 informacje o typach generycznych, 422
 klasy, 248
 Method, 254
 nazwy pól, 259
 parametry Class<T>, 422
 typy pól, 259
 typy uogólnione, 421
 wskaźniki do metod, 267
 rejestrujący obiekt pośredni, 384
 relacje między klasami, 131
 remove(), 437–443, 453, 462, 594, 686
 removeAll(), 441
 removeAllItems(), 586
 removeEldestEntry(), 475
 removeFirst(), 454, 463
 removeHandler(), 380
 removeItem(), 584, 586
 removeItemAt(), 584, 586
 removeLast(), 454, 463
 removeLayoutComponent(), 616, 620
 removePropertyChangeListener(), 540
 repaint(), 514, 516
 replace(), 80
 replaceAll(), 491
 repozytorium Preferences, 553
 resetChoosableFileFilters(), 640
 resetChoosableFilters(), 637
 resource bundle, 370
 resume(), 652
 retainAll(), 441, 492
 revalidate(), 569, 570
 reverse(), 491
 reverseOrder(), 486
 rodzina czcionek, 524
 root pane, 513
 rotate(), 491
 round(), 69
 rozgałęzienie-złączenie, 711
 rozkład
 brzegowy, 565
 siatkowy, 567
 sprężynowy, 607
 rozmiar ekranu, 511
 rozstrzyganie przeciążania, 166, 209
 rozszerzanie klas, 129
 równoległe algorytmy, 699
 równość, 70
 runAfterBoth(), 719
 runAfterEither(), 719
 Runnable, 702, 705
 RUNNABLE, 649
 runtime_error, 340
 RuntimeException, 340, 356, 359

rysowanie, 506, 513
 figury 2W, 517
rzeczownik i czasownik, 131
rzutowanie, 68, 212, 214

S

Scanner, 85, 86, 87, 94
schedule(), 706
scheduleAtFixedRate(), 706
ScheduledExecutorService, 705, 706
scheduleWithFixedDelay(), 706
scroll pane, 573
SDK, 36
SE, 36
ServletException, 348
set(), 237, 264, 266, 449, 453, 500, 501
setAccelerator(), 599, 600
setAcceptAllFileFilterUsed(), 637, 640
setAccessible(), 260, 263
setAccessory(), 641
setAction(), 594
setActionCommand(), 580
setAnchor(), 612
setBackground(), 523, 524
setBorder(), 581, 583
setBounds(), 509–511
setCharAt(), 84
setClassAssertionStatus(), 364
setColumns(), 569–574
setComponentPopupMenu(), 597, 598
setCurrentDirectory(), 635, 640
setCursor(), 549
setDaemon(), 655
setDefaultAssertionStatus(), 364
setDefaultButton(), 630, 634
setDefaultCloseOperation(), 509
setDefaultUncaughtExceptionHandler(), 655, 656
setDisplayedMnemonicIndex(), 599, 600
setDone(), 677
setEchoChar(), 572
setEditable(), 568, 586
setEnabled(), 540, 544, 600, 601
setFileFilter(), 640
setFileSelectionMode(), 636, 640
setFileView(), 638, 640
setFill(), 612
setFilter(), 374, 381
setFont(), 570
setForeground(), 524
setFormatter(), 381
setFrameFromCenter(), 520
setHorizontalTextPosition(), 595
setIcon(), 571
setIconImage(), 509, 512
setInheritsPopupMenu(), 597, 598
setInverted(), 591
setJMenuBar(), 592, 594
setLabelTable(), 588, 592
setLayout(), 565, 567
setLevel(), 380, 381
setLineWrap(), 572, 574
setLocation(), 509, 511
setLocationByPlatform(), 511
setMajorTickSpacing(), 587, 591
setMinorTickSpacing(), 587, 591
setMnemonic(), 599, 600
setMultiSelectionEnabled(), 635, 640
setPackageAssertionStatus(), 364
setPaint(), 523, 524
setPaintLabels(), 588, 591
setPaintTicks(), 587, 591
setPaintTrack(), 591, 592
setParent(), 380
setPriority(), 657
setResizable(), 509, 512
setRows(), 572, 574
setSelected(), 576, 577, 596, 597
setSelectedFile(), 635, 640
setSelectedFiles(), 640
setSize(), 511
setSnapToTicks(), 587, 592
setTabSize(), 575
setText(), 568, 569, 571, 629
setTime(), 212
setTitle(), 509–512
setToolTipText(), 606
setUncaughtExceptionHandler(), 655, 656
setUseParentHandlers(), 380
setValue(), 471
setVisible(), 509, 511, 626, 629
setWrapStyleWord(), 575
severe(), 379
Shape, 517
short, 56
SHORT_DESCRIPTION, 540
show(), 597
showConfirmDialog(), 622, 624
showDialog(), 640
showInputDialog(), 622, 625
showInternalConfirmDialog(), 624
showInternalInputDialog(), 625
showInternalMessageDialog(), 623
showInternalOptionDialog(), 624
showMessageDialog(), 288, 622, 623
showOpenDialog(), 634, 636, 640
showOptionDialog(), 622, 624
showSaveDialog(), 636, 640

- shuffle(), 488
- shutdown(), 706
- sieciowość, 24
- signal(), 667–670, 682
- signalAll(), 666–670, 681
- size(), 237, 440, 441, 451
- skład tekstów, 526
- składanie łańcuchów, 75, 84
- składnia
 - Javy, 23
 - wyrażeń lambda, 297
- składowe, 129, 150
- sleep(), 648
- slider, 575
- słabe referencje, 472
- słabo spójne iteratory, 692
- słowa kluczowe, 737
 - abstract, 215
 - assert, 361
 - break, 106, 107
 - case, 106
 - catch, 345
 - class, 52, 141
 - const, 64
 - continue, 109
 - default, 106
 - else, 96
 - enum, 64
 - extends, 200, 280
 - final, 63, 152, 211
 - finally, 350
 - if, 95
 - implements, 275
 - import, 87, 175
 - instanceof, 214
 - interface, 274
 - new, 133
 - package, 177, 180
 - private, 145, 152, 220
 - protected, 220
 - public, 52, 145, 220
 - static, 154, 155
 - strictfp, 65
 - super, 202
 - switch, 105
 - synchronized, 662, 670
 - this, 148, 155, 169
 - throw, 343
 - throws, 341
 - try, 345
 - var, 146
 - volatile, 676
 - while, 98, 100
- słowa zarezerwowane, 62
- słowniki, 692
 - modyfikowanie atomowe, 693
 - operacje masowe, 696
- SMALL_ICON, 540
- SocketHandler, 371
- SoftBevelBorder, 581, 583
- Software Development Kit, 36
- sort(), 117, 119, 277, 278, 486, 488
- SortedMap, 444, 468–471, 484
- SortedSet, 444, 461, 484
- sortowanie, 486
 - quick sort, 487
 - tablica, 117
- specyfikacja wyjątku, 341
- specyfikator formatu, 88
- sprawdzanie
 - parametrów, 362
 - zakresu, 116
- SpringLayout, 607
- sprzężenie zwrotne, 286
- sqrt(), 66
- Stack, 434, 500
- stack trace, 354
- StackTraceElement, 357
- stałe, 63
 - klasowe, 64
 - łańcuchowe, 76
 - matematyczne, 66
 - poła klasy, 152
 - statyczne, 154
- stan obiektu, 129
- Standard Template Library, 434
- stany wątków, 648
- start(), 288
- static, 154–156, 171
 - allOf, 719
 - anyOf, 719
 - binding, 209
 - final, 64
 - klasy wewnętrzne, 326
 - void, 53
- statyczne klasy wewnętrzne, 325
- sterta, 116, 464
- STL, 434
- stop(), 288, 651, 652, 683
- store(), 499
- stos, 500
 - wywołań, 354
- stosowanie
 - kilku plików źródłowych, 144
 - wyjątków, 358
- StreamHandler, 373
- strictfp, 65

- String, 73, 75, 78
- String.format(), 90
- StringBuilder, 84
- struktury danych, 433, 434
 - kolejka, 462
 - kolejka priorytetowa, 464
 - listy powiązane, 445
 - listy tablicowe, 454
 - mapy, 465
 - sterta, 464
 - tablice mieszające, 455
 - zbiór, 456
- strumienie, 85
- subclass, 200
- subList(), 478, 484
- subMap(), 484
- submit(), 706, 711
- subSet(), 484
- substitution principle, 208
- substring(), 73, 76, 80
- subtract(), 111, 112
- Sun Fellow, 29
- super, 202, 203
- super.clone(), 292
- superclass, 200
- supplementary characters, 60
- surrogates area, 60
- suspend(), 651, 652, 683
- suwaki, 586
 - podziałka, 587
- swap(), 491
- Swing
 - akceleratory, 599
 - BorderLayout, 566
 - Component, 564
 - Container, 564
 - czcionki, 524
 - dodawanie komponentów, 566
 - dymki, 606
 - etykiety, 570
 - figury 2W, 517
 - GridBagLayout, 607
 - GridLayout, 567
 - ikony, 509
 - Java2D, 517
 - JButton, 563
 - JCheckBox, 576
 - JComboBox, 583
 - JFileChooser, 634
 - JFrame, 507, 509
 - JLabel, 570
 - JMenuBar, 592
 - JMenuItem, 598
 - JOptionPane, 621
 - JPanel, 566
 - JPasswordField, 571
 - JPopupMenu, 597
 - JRadioButton, 578
 - JScrollPane, 573
 - JSlider, 586
 - JTextArea, 568, 572
 - JTextField, 568
 - kolory, 523
 - komponenty, 514, 559, 564
 - konfiguracja komponentów, 508
 - kontener, 564
 - listy rozwijalne, 583
 - mapa wejścia, 542
 - menu, 592
 - menu podręczne, 597
 - nazwy klas, 507
 - niestandardowi zarządcy rozkładu, 616
 - obramowanie, 581
 - obsługa zdarzeń, 514
 - obszary tekstowe, 572
 - okna dialogowe, 620
 - panel przewijany, 573
 - paski narzędzi, 604
 - pola
 - haseł, 571
 - tekstowe, 568
 - wyboru, 575
 - położenie ramki, 509
 - pozycjonowanie ramki, 509
 - przełączniki, 577
 - ramki, 507
 - relacje pomiędzy modelem, widokiem i kontrolerem, 561
 - rozkład brzegowy, 565
 - rozkład siatkowy, 567
 - rozmiar ekranu, 511
 - rysowanie, 513
 - SpringLayout, 607
 - suwaki, 586
 - tekst pasku tytułu, 509
 - treść, 560
 - warstwy ramki, 513
 - wątek dystrybucji zdarzeń, 508
 - wprowadzanie tekstu, 568
 - wybór opcji, 575
 - wygląd, 560
 - wymuszanie ponownego rysowania ekranu, 514
 - wysyłanie zdarzeń, 508
 - wyświetlanie informacji w komponencie, 512
 - wyświetlanie ramki, 509
 - zachowanie, 560
 - zamykanie ramki aplikacji, 509
 - zarządzanie rozkładem, 563, 607

SwingUtilities, 634
 SwingWorker, 726, 728
 switch, 105

- break, 106
- case, 106
- default, 106

 sygnatura metody, 166, 210
 symbole zastępcze znaków specjalnych, 59
 synchronizacja wątków, 658
 synchronized, 662, 670
 synchronizedCollection(), 479, 482
 synchronizedList(), 482
 synchronizedMap(), 480, 482
 synchronizedSet(), 482
 synchronizedSortedMap(), 482
 synchronizedSortedSet(), 482
 system usuwania nieużytków, 472
 System.err, 371, 385
 System.exit(), 54, 509
 System.in, 85
 System.out, 54, 93, 385
 System.out.println(), 88
 System.out.println(), 85
 systemNodeForPackage(), 557
 systemRoot(), 553, 557
 sytuacje wyjątkowe, 337

§

ścieżka do klasy, 181
 ścisła kontrola typów, 276
 śledzenie przepływu wykonywania, 367
 średnik, 61
 środowisko programistyczne, 35

T

tabela metod, 210
 tablice, 112

- deklaracja, 112
- for each, 114, 115
- Iterable, 114
- kopiowane przy zapisie, 699
- kopiowanie, 115
- liczba elementów, 114
- mieszające, 227, 455
 - kolizja, 455
 - komórki, 455
 - kubelki, 455
 - reorganizacja, 456
 - współczynnik wypełnienia, 456
- numerowanie elementów, 114
- postrzępione, 122
- przetwarzanie, 114

sortowanie, 117
 tworzenie, 113
 wielowymiarowe, 120
 tagging interface, 292
 tailMap(), 484
 tailSet(), 484
 take(), 686, 691, 711
 takeFirst(), 691
 takeLast(), 691
 tasowanie, 486
 tekst, 568

- pasku tytułu, 509

 template code bloat, 399
 TERMINATED, 649
 text(), 87
 thenAccept(), 718
 thenAcceptBoth(), 719
 thenApply(), 718
 thenCombine(), 719
 thenCompose(), 718
 thenRun(), 718
 this, 148, 155, 169, 203, 316
 thread, 643–656
 thread of control, 643
 Thread.dumpStack(), 385
 Thread.UncaughtExceptionHandler, 656
 ThreadDeath, 651
 ThreadGroup, 656, 657
 ThreadPoolExecutor, 704, 706
 Threads, 681
 throw, 343
 Throwable, 251, 339, 345, 355, 359
 throwing(), 380
 throws, 93, 341, 342
 Time, 90, 91
 TimeoutException, 702
 Timer, 286, 288
 toArray(), 441, 442
 toLowerCase(), 80
 toolbar, 604
 Toolkit, 288, 511, 512
 tooltips, 606
 toString(), 85, 119, 228, 244–247, 258, 336, 357
 toUpperCase(), 81
 tożsamość obiektu, 129
 transfer(), 664
 translacja

- metod uogólnionych, 400
- wyrażeń generycznych, 399

 TreeMap, 444, 465, 468
 TreeSet, 444, 458, 461, 464

- dodawanie elementów, 458, 459

 treść, 560
 trigger key, 630

- trim(), 81, 569
- trimToSize(), 236, 237
- true, 56, 61
- try, 345
- try-finally, 351
- tworzenie
 - akceleratory, 599
 - algorytm, 493
 - egzemplarz klasy, 129
 - egzemplarz typu uogólnionego, 393
 - interfejsy użytkownika, 505
 - klasy wyjątków, 344
 - konstruktory, 145
 - menu, 592
 - metody uogólnione, 394
 - obiekty, 133, 134, 147, 165
 - obiekty pośredniczące, 331
 - okna dialogowe, 625
 - pliki JAR, 184
 - pule wątków, 704
 - ramki, 507
 - tablice, 113
 - tablice postrzępione, 123
 - zegar, 286
- typ char, 58
- type parameters, 390
- TypeVariable, 423, 430
- typy
 - całkowite, 56
 - danych, 56
 - boolean, 61
 - liczby całkowite, 56
 - liczby zmiennoprzecinkowe, 57
 - łańcuchy, 73
 - numeryczne, 57
 - rzutowanie, 68
 - znaki, 58
 - interfejsowe, 436
 - sparametryzowane, 31
 - surowe, 235, 398
 - uogólnione
 - refleksja, 421
 - wieloznaczne, 392, 414
 - bez ograniczeń, 418
 - chwytnie, 418
 - nadtypy, 415
 - ograniczenia nadtypów, 415
 - wyliczeniowe, 64
 - zmiennoprzecinkowe, 57

U

- uchwyty procesów, 731
- ukrywanie danych, 129

- UML, 132
 - powiązania między klasami, 132
- UncaughtExceptionHandler, 655, 656
- uncaughtException(), 655–657
- unchecked exception, 340
- Unicode, 59, 60, 73
- Unified Modeling Language, 132
- unlock(), 662, 664
- unmodifiableCollection(), 479
- unmodifiableList(), 479, 482
- unmodifiableMap(), 482
- unmodifiableSet(), 479, 482
- unmodifiableSortedMap(), 482
- unmodifiableSortedSet(), 482
- UnsupportedOperationException, 479, 481
- Update, 36
- uruchamianie
 - aplikacji, 52
 - procesu, 730
- userNodeForPackage(), 557
- userRoot(), 553, 557
- usługi, 328
 - moduły, 328
- ustawianie ścieżki klas, 183
- usuwanie błędów, 383
- UTC, 135
- UTF-16, 60
- używa, 131

V

- validate(), 570
- valueOf(), 111, 112, 244, 247
- varargs, 244, 368
- Vector, 235, 434, 700
- view, 476
- void, 54
- volatile, 676

W

- wait set, 666
- wait(), 670–675, 682
- WAITING, 650
- warning(), 379
- WARNING_MESSAGE, 621
- wartości logiczne, 61
- wartość null, 147
- warunki, 665
- wątek dystrybucji zdarzeń, 508, 684
- wątek sterowania, 643
- wątki, 643, 644
 - await(), 666, 667
- BLOCKED, 650

- blok synchronizowany, 674
- blokada, 664
- blokowanie po stronie klienta, 674
- Callable, 702
- Condition, 669, 670
- demony, 655
- Executors, 704
- Future, 702
- kolejka blokująca, 685
- Lock, 662, 664, 669, 670
- monitor, 675
- NEW, 649
- oczekujące, 666
- poła ulotne, 676
- priorytety, 657
- procedury obsługi, 655
- przerywanie, 645, 652
- ReentrantLock, 664
- RUNNABLE, 649
- signal(), 667
- signalAll(), 667
- stany, 648
- starsze kolekcje bezpieczne wątkowo, 700
- status przerwania, 652
- stop(), 652, 683
- suspend(), 652, 683
- synchronizacja, 658
- synchronized, 670
- tablice kopiowane przy zapisie, 699
- TERMINATED, 649
- volatile, 676
- WAITING, 650
- warunki, 665
- wyścig, 658, 660
- wyłaszczanie, 649
- wyzerowanie statusu przerwania, 653
- zablokowane, 650, 652
- zakleszczenia, 667, 679
- zamykanie, 650
- zatrzymanie wykonywania, 648
- weak reference, 472
- WeakHashMap, 444, 471, 474
- weakly consistent iterators, 692
- WeakReference, 472
- wejście, 85
- wersje języka Java, 32
- WHEN_ANCESTOR_OF_FOCUSED_COMPONE
NT, 542, 543
- WHEN_FOCUSED, 542, 543
- WHEN_IN_FOCUSED_WINDOW, 542, 543
- whenComplete(), 718
- while, 98, 100
- wiązanie
 - dynamiczne, 205
 - statyczne, 209
- widoczność, 211
- widoki, 492, 560
 - kontrolowane, 480
 - niemodyfikowalne, 478
 - przedziałowe, 478
 - synchronizowane, 480
- wielkie liczby, 110
- wielkość liter, 52
- wielowątkowość, 27
- wiersz poleceń, 116
- wildcard type, 392, 414
- WildcardType, 423, 430
- Window, 511
- windowActivated(), 538, 539, 552
- windowClosed(), 538, 539, 552
- windowClosing(), 538, 539, 552
- windowDeactivated(), 538, 552
- WindowDeactivated(), 539
- windowDeiconified(), 538, 539, 552
- WindowEvent, 532, 537, 551
- WindowFocusListener, 552
- windowGainedFocus(), 552
- windowIconified(), 538, 539, 552
- WindowListener, 538, 539, 552
- windowLostFocus(), 552
- windowOpened(), 538, 539, 552
- windowStateChanged(), 539, 552
- WindowStateListener, 539, 552
- własności interfejsów, 280
- właściwości list, 487
- włączanie asercji, 362
- wprowadzanie tekstu, 568
- wskazniki do metod, 267
- współbieżność, 643
- współczynnik zapelnienia, 456
- współrzędne, 518
 - kodowe znaków, 60, 77
- wstawianie komentarzy javadoc, 190
- wybór
 - opcji, 575
 - plików, 634
- wyciszanie wyjątków, 359
- wydajność kodu bajtowego, 27
- wydużenie
 - dolne, 526
 - górne, 526
- wygląd, 560
- wyjątki, 338, 339
 - analiza danych ze stosu wywołań, 354
 - ArrayIndexOutOfBounds, 114
 - ArrayIndexOutOfBoundsException, 340, 341
 - BadCastException, 421
 - blok try-catch, 345
 - blok try-finally, 351

- wyjątki
 - budowanie łańcuchów wyjątków, 348
 - CancellationException, 727
 - ClassCastException, 213, 264, 413, 480
 - CloneNotSupportedException, 293
 - ConcurrentModificationException, 449, 692
 - diagram hierarchii, 339
 - EmptyStackException, 360
 - Error, 339, 340
 - Exception, 339, 340
 - FileNotFoundException, 341, 343
 - finally, 350
 - IllegalAccessException, 259
 - IllegalStateException, 439
 - InterruptedException, 652
 - IOException, 343, 346
 - klasy wyjątków, 344
 - klasyfikacja, 339
 - kontrolowane, 249, 251, 340, 341, 342
 - metody, 341
 - niekontrolowane, 251, 340
 - NullPointerException, 147, 340, 360
 - NumberFormatException, 359
 - opis, 345
 - powtórne generowanie, 348
 - przechwytywanie, 251, 345, 347
 - przekazywanie, 360
 - RuntimeException, 340, 359
 - specyfikacja, 341
 - stosowanie, 358
 - Throwable, 339
 - TimeoutException, 702
 - tworzenie klas wyjątków, 344
 - UnsupportedOperationException, 479
 - wyciszenie, 359
 - wykonawcze, 340
 - zgłaszanie, 343
 - wyjście, 85
 - wykonywalne pliki JAR, 186
 - wyliczenia, 64, 246, 495
 - wyłączenie
 - asercji, 362
 - dziedziczenia, 211
 - wymazywanie typów, 400
 - wymiana danych, 629
 - wymuszanie ponownego rysowania ekranu, 514
 - wypełnianie figur, 523
 - wypisywanie danych, 55
 - wrażenia lambda, 296
 - przetwarzanie, 308
 - składnia, 297
 - wysyłanie zdarzeń, 508
 - wyszukiwanie
 - binarne, 489
 - błędów, 383
 - wyścig, 658, 660
 - wyświetlanie
 - informacji w komponencie, 512
 - obrazów, 530
 - ramki, 509
 - wyłączanie wątków, 649
 - wywołanie
 - innego konstruktora, 169
 - przez nazwę, 159
 - przez referencję, 159
 - przez wartość, 159
 - wyzerowanie statusu przerywania wątku, 653
 - wzorzec MVC, 560
- X**
- XML, 32
 - xor(), 501
- Y**
- YES_NO_CANCEL_OPTION, 622
 - YES_NO_OPTION, 622
 - YES_OPTION, 622
- Z**
- zablokowane wątki, 650
 - zachowanie, 560
 - obiektu, 129
 - zadania czasochłonne, 722
 - zakleszczenia, 667, 679
 - zależność, 131
 - zamiana parametrów obiektowych, 162
 - zamykanie
 - aplikacji, 509
 - wątków, 650
 - zaokrąglanie liczb, 69
 - zapis
 - do dziennika, 366
 - do pliku, 92
 - zarządca rozkładu
 - brzegowego, 565
 - ciągłego, 563
 - grupowego, 607
 - siatkowego, 567
 - zarządzanie rozkładem, 563, 607
 - GridBagLayout, 607
 - zasada zamienialności, 208
 - zasięg
 - blokowy, 94
 - zmiennych, 94

- zasoby, 252
- zawiera, 131
- zbiory, 456, 692
 - bitów, 500
- zbiór
 - HashSet, 454
 - TreeSet, 458
- zdarzenia, 286, 531
 - AWT, 550
 - ChangeEvent, 587
 - interfejs nasłuchu, 532
 - mysz, 545
 - obiekty nasłuchujące, 287
 - obsługa, 287
 - okna, 538
 - WindowEvent, 537
- zegar, 286
- zgłaszanie wyjątków, 343
- zgodność pomiędzy typowanymi a surowymi listami tablicowymi, 240
- zintegrowane środowisko programistyczne, IDE, 45
- ZIP, 184
- zmiana stanu okna, 551
- zmienna liczba parametrów, 244
- zmiennie, 61, 306
 - definicja, 63
 - deklaracja, 61, 63
 - interfejsowe, 280
 - nazwy, 62
 - obiektowe, 133
 - polimorficzne, 208
 - typowe, 396
 - ograniczenia, 397
 - stacyjny kontekst klas uogólnionych, 408
 - warunkowe, 665
 - zasięg, 94
- znaczniki dokumentacyjne, 190
 - @author, 190, 192
 - @deprecated, 192
 - @link, 193
 - @Override, 225
 - @param, 190, 191
 - @return, 191
 - @since, 192
 - @SuppressWarnings, 403
 - @throws, 191
 - @version, 192
- znajdowanie liczb pierwszych, 501
- znaki, 58
 - , 70
 - !=, 70
 - @, 190
 - &, 71
 - &&, 70
 - /* */, 55
 - /** */, 55
 - //, 55
 - ?:, 71
 - [], 116
 - ^, 71
 - |, 71
 - ||, 71
 - ~, 71
 - ++, 70
 - <<, 71
 - <<<, 71
 - ==, 70, 76
 - >>, 71
 - >>>, 71
 - ..., 245
 - dodatkowe, 60
 - echa, 571
 - konwersji, 88
 - specjalne, 59
 - Unicode, 62
- zwolnienie klawisza, 551

PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —

1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA
Helion

JAVA — OTO JĘZYK MISTRZÓW PROGRAMOWANIA!

Świat usłyszał o Javie pod koniec 1995 roku. Wkrótce stała się niezwykle popularną i cenioną technologią. Dziś jest dojrzałym, rozbudowanym, elastycznym, a przy tym niezwykle starannie zaprojektowanym językiem programowania, który może służyć do pisania dużych systemów, małych programów, aplikacji mobilnych i aplikacji WWW. Charakteryzuje się też wysublimowanymi zabezpieczeniami, które w niego wbudowano. Każdy, kto chce pisać dobry i wydajny kod, powinien dobrze poznać zarówno podstawowe, jak i zaawansowane cechy Javy.

Ta książka jest kolejnym, zaktualizowanym i uzupełnionym wydaniem kultowego podręcznika dla profesjonalnych programistów Javy — to pierwszy tom, w którym omówiono podstawy języka oraz najważniejsze zagadnienia związane z programowaniem interfejsu użytkownika. W tym wydaniu opisano pakiet JDK Java Standard Edition (SE) w wersji 9, 10 i 11. Teorii towarzyszą liczne przykłady kodu, obrazujące zasady działania niemal każdej przedstawionej tu funkcji czy biblioteki. Przykładowe programy są proste, aby ułatwić naukę najważniejszych zagadnień.

W TEJ KSIĄŻCE MIĘDZY INNYMI:

- solidne wprowadzenie do Javy i przygotowanie środowiska pracy
- zasady programowania obiektowego: klasy, hermetyzacja, dziedziczenie
- mechanizm refleksji i obiekty proxy
- interfejsy, klasy wewnętrzne i wyrażenia lambda
- programowanie generyczne i system kolekcji
- GUI i praca z pakietem Swing
- programowanie współbieżne

CAY S. HORSTMANN — profesor informatyki na Uniwersytecie Stanowym w San Jose, autor popularnych podręczników do nauki Javy. Został wyróżniony tytułem Java Champion. Często zabiera głos na konferencjach programistycznych.

 PRENTICE HALL
PEARSON EDUCATION

 helion.pl HELION SA ul. Kościuszki 1c 44-100 Gliwice tel.: 32 230 98 63 helion@helion.pl	<i>Sprawdź nasze szkolenia!</i> SZKOLENIA  AKADEMIA IT & BUSINESS WWW.SZKOLENIA.HELION.PL	KOD KORZYŚCI <i>Sięgnij po więcej!</i> ▶  ISBN 978-83-283-5778-5  9 788328 357785
INFORMATYKA W NAJLEPSZYM WYDANIU		Cena: 99,00 zł